

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO DE  
RAQUIS PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA ACEITERA  
ECUATORIANA EN MATERIALES NO CONVENCIONALES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**NATALY PAULINA BAQUERO DUQUE**

nataly.baquero@epn.edu.ec

**PAOLA ANDREA RICO BELALCAZAR**

paola.rico@epn.edu.ec

**Director: MSc. LAURO VLADIMIR VALLE ALVAREZ**

vladimir.valle@epn.edu.ec

**Codirector: MSc. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL**

maria.aldas@epn.edu.ec

**Quito, marzo 2020**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Nosotras, Nataly Paulina Baquero Duque y Paola Andrea Rico Belalcazar, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**Nataly Paulina Baquero Duque**

---

**Paola Andrea Rico Belalcazar**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Nataly Paulina Baquero Duque y Paola Andrea Rico Belalcazar, bajo nuestra supervisión.

---

**Lauro Vladimir Valle Alvarez**

**DIRECTOR**

---

**María Belén Aldás Sandoval**

**CODIRECTOR**

## AGRADECIMIENTO

Nelly, por ser la mejor mamá y abuela, por apoyarme en todo y estar a mi lado sin importar lo que haya pasado, ahora te entiendo; Jorge, por su apoyo incondicional. A mis hermanos: Jor, gracias por siempre enseñarme con paciencia, eres el mejor hermano; Lenno, por mostrarme que la vida no es perfecta; Carla, por ser mi hermana de corazón; Liz y Giss, por cuidar a mi pequeña, sin su ayuda jamás lo hubiera logrado, son los mejores tíos. A todas mis ñañitas, en especial a Barbis y Mona por ser mis segundas mamás y siempre estar pendientes. A toda mi familia, mis abuelitos, mis suegros, tíos/as y primos/as.

A mis amigas de toda la vida, Majo y Cinthy por estar siempre. A mis amigos de la U me llevo los mejores recuerdos junto a ustedes. A Meli, Michu, Taty, Gene, Tami, Dome, Karen y Eve, a mis cochinitos, a los amiguitos: Paul, Fabi, Cris, Tatita, Karlita, Silvi, Belén y Cesitar; a todos los OneDs y a los losers: David, Jeff, Maru y Abbi gracias por el tiempo compartido, gracias a todos por hacer de esta una etapa inolvidable. Winy, gracias por todos estos años; Meli, eres la mejor.

A mi director, Vladi, por enseñarnos tanto y ser un amigo. A mi codirectora, Inge Aldás, gracias por ser tan buena persona y por ayudarnos siempre. A todas las personas que hicieron posible esta tesis; a la familia del CIAP, que lindo poder compartir tiempo con ustedes y un agradecimiento especial a los pasantes.

A mi compañera de tesis, Pao, gracias por tu amistad incondicional y por cada momento compartido, me llevo una gran experiencia al trabajar contigo, eres una persona increíble y solo te mereces lo mejor del mundo.

Dejé al final a las personas por las que me levanto cada día, pudiera escribir mil hojas solo de ustedes: a mi hija, Asiri, gracias por darle sentido a mis días, por mostrarme lo fuerte que soy, por levantarme y hacerme mejor.

A Stalin, el amor de mi vida, gracias por cruzarte en mi camino y por nunca rendirte, gracias por la vida que tengo a tu lado, por cada día, cada lucha, eres todo para mí, mi tobillo izquierdo, hasta arrugaditos. Abrazo de tres. LES AMO.

Pauli

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser guía y fortaleza en el camino de mi vida.

A mis padres por ser mi soporte en todo momento, porque cuando pensaba que iba claudicar tuvieron siempre las palabras adecuadas para llenarme de valor y seguir adelante, pero, sobre todo, por el amor que me ofrecen día a día. A Laurita, porque desde que naciste has sido una bendición que llena mi vida de felicidad. A mis abuelitos, Rubiela y Silvio, porque nunca perdieron su fe en mí y me brindaron un apoyo incondicional. A mis tías, Olga y Mary, por los consejos que siempre me brindan llenos de sabiduría y amor.

A todas y cada una de las personas con las que tuve el privilegio de compartir en la universidad que aportaron un granito de arena a mi crecimiento tanto personal como profesional, pero en especial a Anita por ser más que una amiga, una hermana, una persona incondicional en mi vida; a mis queridos amiguitos, cochinitos y losers, gracias por cada momento de sufrimiento y alegría compartido juntos.

A Vladi, por ser un gran director de tesis que con sabiduría y paciencia nos supo guiar en el desarrollo de este trabajo, pero, principalmente, por ser un gran amigo; a la inge Aldás, por aceptar ser nuestra codirectora, por la paciencia, consejo en cada momento y el apoyo incondicional. A ambos, mil gracias.

A todas las personas del CIAP, por permitirnos desarrollar la tesis en este lugar, por aceptarnos y el cariño que nos brindaron. A los pasantes por la ayuda ofrecida en la parte experimental del presente trabajo.

A mi compañera de tesis y amiga, Pauli, por la paciencia, los momentos de risas juntas, por hacer de este trabajo una experiencia agradable y de crecimiento; eres una persona maravillosa.

Paola

## DEDICATORIA

A mi mami, espero algún día ser tan buena mamá como lo eres para mí.

A mi hermano, Jor, si no fuera por ti no estuviera aquí.

A mi hija Asiri, cada logro, cada paso tiene tu nombre, solo quiero verte crecer y llegar mucho más lejos de donde yo esté, eres mi orgullo más grande.

A mi compañero de vida, Stalin, nada es imposible si lo hacemos juntos, todo el tiempo del mundo nunca será suficiente, te amo, esto es por ti.

Pauli

## DEDICATORIA

A mis papás, porque sin ellos que no habría logrado llegar hasta aquí.

A Laurita, por ser mi alegría e inspiración.

A mis abuelitos, Rubiela y Silvio, espero poder retribuir día a día todo el amor y apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida.

Paola

## CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>CONTENIDO.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvii</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1. GENERAL .....	2
1.2.2. ESPECÍFICOS .....	2
1.3. ALCANCE .....	3
1.4. HIPÓTESIS .....	4
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA.....	6

2.1.1.	ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....	6
2.1.2.	GENERALIDADES E IMPORTANCIA ECONÓMICA .....	7
2.1.3.	RESIDUOS DE LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA .....	8
2.1.3.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS .....	8
2.1.3.2.	APLICACIONES COMUNES DEL RAQUIS .....	9
2.1.3.3.	OTRAS APLICACIONES DEL RAQUIS .....	10
2.1.4.	IMPACTO AMBIENTAL .....	11
2.2.	ADHESIVO CON BASE EN PVA Y ALMIDÓN MODIFICADO .....	14
2.2.1.	GENERALIDADES .....	14
2.2.2.	PROPIEDADES .....	15
2.2.3.	USOS .....	16
2.2.4.	IMPACTO AMBIENTAL .....	16
2.3.	MATERIALES COMPUESTOS .....	17
2.3.1.	GENERALIDADES .....	17
2.3.2.	CLASIFICACIÓN .....	19
2.3.3.	IMPACTO AMBIENTAL .....	21
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>.....</b>	<b>24</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>.....</b>	<b>24</b>
3.1.	LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE .....	24
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE RAQUIS .....	24
3.2.1.	ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA .....	24
3.2.2.	CONTENIDO DE HUMEDAD .....	25
3.2.3.	COMPONENTES LIGNOCELULÓSICOS DE LA FIBRA .....	26
3.3.	ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO .....	28
3.3.1.	OBTENCIÓN DEL ADHESIVO .....	28

3.3.2. FORMULACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO .....	29
3.4. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL OBTENIDO.....	29
3.4.1. ENSAYO DE TRACCIÓN .....	29
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>30</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
4.1. LÍNEA BASE .....	30
4.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL .....	31
4.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD .....	31
4.2.2. COMPONENTES LIGNOSELULÓSICOS DE LA FIBRA .....	32
4.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL .....	33
4.3.1. PROPUESTA DE USO DEL MATERIAL COMPUESTO .....	40
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>41</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
5.1. CONCLUSIONES.....	41
5.2. RECOMENDACIONES .....	42
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Clasificación de materiales compuestos según el refuerzo .....	19
Gráfico 2. Componentes lignocelulósicos .....	32
Gráfico 3. Elaboración del material .....	34
Gráfico 4. Láminas .....	35
Gráfico 5. Lámina a 60°C .....	35
Gráfico 6. Probeta para el ensayo de tracción .....	36
Gráfico 7. Alargamiento a la rotura.....	36
Gráfico 8. Resistencia de la tracción .....	37
Gráfico 9. Módulo de tracción.....	37
Gráfico A 1. Lugar de almacenamiento del residuo raquis .....	83
Gráfico A 2. Recolección del residuo raquis.....	83
Gráfico A 3. Recolección del residuo raquis.....	83
Gráfico A 4. Recolección del residuo raquis.....	83
Gráfico A 5. Secado a temperatura ambiente del raquis.....	83
Gráfico A 6. Secado a temperatura ambiente del raquis y su parte lateral .....	84
Gráfico A 7. Secado a temperatura ambiente de la parte lateral del raquis .....	84
Gráfico A 8. Extracción de la fibra de raquis .....	84
Gráfico A 9. Extracción de la fibra de raquis .....	84
Gráfico A 10. Secado a temperatura ambiente de fibra .....	84
Gráfico A 11. Secado de fibra a 60°C en la estufa.....	84
Gráfico A 12. Pesado del crisol tarado .....	85
Gráfico A 13. Pesado de la fibra.....	85
Gráfico A 14. Agitación de la fibra con hipoclorito de sodio 10% .....	85
Gráfico A 15. Filtración de la muestra .....	85
Gráfico A 16. Calentamiento de la muestra con sulfito de sodio .....	85
Gráfico A 17. Filtración de la muestra .....	85
Gráfico A 18. Pesado del crisol tarado .....	86
Gráfico A 19. Pesado de la fibra.....	86
Gráfico A 20. Agitación de la fibra con ácido sulfúrico 72% .....	86

Gráfico A 21. Calentamiento de la muestra con ácido sulfúrico 3% .....	86
Gráfico A 22. Filtración de la muestra .....	86
Gráfico A 23. Equipo de filtración de la muestra .....	86
Gráfico A 24. Pesaje .....	87
Gráfico A 25. Mezcla del material.....	87
Gráfico A 26. Preparación del material para su secado en estufa.....	87
Gráfico A 27. Montaje del material en las láminas de moldeo.....	87
Gráfico A 28. Moldeo por compresión térmica .....	87
Gráfico A 29. Extracción del material .....	87
Gráfico A 30. Material final .....	88
Gráfico A 31. Material final 100°C, 0,42 mm .....	88
Gráfico A 32. Material final 100°C, 0,60 mm .....	88
Gráfico A 33. Material final 80°C, 0,60 mm .....	88
Gráfico A 34. Material final 80°C, 0,42 mm .....	88
Gráfico A 35. Cortado del material en la troqueladora .....	88
Gráfico A 36. Material final cortado, probeta .....	88
Gráfico A 37. Probeta en la máquina de ensayos mecánicos .....	89
Gráfico A 38. Probeta antes del ensayo mecánico.....	89
Gráfico A 39. Probeta después del ensayo mecánico.....	89
Gráfico A 40. Curvas obtenidas en el ensayo mecánico .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Extracción de aceite en el PIB agrícola del Ecuador .....	8
Tabla 2. Principales residuos sólidos de la extracción de aceite de palma .....	9
Tabla 3. Impactos ambientales en fase de cultivo.....	12
Tabla 4. Impactos ambientales en fase de extracción.....	13
Tabla 5. Grupos funcionales.....	18
Tabla 6. Comparación de las matrices termoplásticas y termoestables .....	20
Tabla 7. Empresas encuestadas .....	30
Tabla 8. Resultados de las encuestas.....	31
Tabla 9. Contenido de humedad .....	32
Tabla 10. Contenidos de humedad de la fibra de tusa .....	32
Tabla 11. Contenidos de lignina y celulosa de la fibra del raquis .....	33
Tabla 12. Identificación de las muestras .....	36
Tabla 13. Resultados ensayos de tracción con matriz convencional .....	38
Tabla 14. Resultados ensayos de tracción con biocomposites .....	39
Tabla A 1. Resultados de contenido de humedad.....	68
Tabla A 2. Resultados de contenido de celulosa.....	68
Tabla A 3. Resultados de contenido de lignina .....	68
Tabla A 4. Formulaciones del material .....	70
Tabla A 5. Resultados mecánicos de la temperatura de 80°C .....	72
Tabla A 6. Resultados mecánicos de la temperatura de 100°C .....	73
Tabla A 7. Resultados finales de propiedades mecánicas .....	74
Tabla A 8. Comprobación de datos atípicos resistencia a la tracción .....	76
Tabla A 9. Comprobación de datos atípicos módulo de tracción.....	77
Tabla A 10. Comprobación de datos atípicos alargamiento a la rotura .....	78
Tabla A 11. ANOVA alargamiento a la rotura.....	79
Tabla A 12. ANOVA resistencia a la tracción .....	80
Tabla A 13. ANOVA módulo de tracción .....	81
Tabla A 14. Formulaciones probetas.....	90

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. ENCUESTA DE RESIDUOS.....	61
ANEXO 2. SOLUCIONES DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL .....	65
ANEXO 3. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL.....	67
ANEXO 4. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA .....	69
ANEXO 5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	75
ANEXO 6. REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	82

## SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

Siglas	Significado
ANCUPA	Asociación Nacional de Cultivadores del Palma Aceitera
AR	Alargamiento a la Rotura
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales por sus siglas en inglés
EFB	Empty Fruit Bunch
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
FEDEPAL	Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Nacional
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
Mpa	Mega Pascales
MT	Módulo de Tracción
PE	Polietileno
PIB	Producto Interno Bruto
PLA	Ácido poliláctico
PP	Polipropileno
PVA	Alcohol polivinílico
RFF	Racimo de Fruta Fresca
RFV	Racimo de Fruta Vacío
RT	Resistencia a la Tracción
TAPPI	Asociación Técnica de la Industria de Pulpa y Papel por sus siglas en inglés

## RESUMEN

En el presente trabajo se elaboró un material compuesto por medio de compresión térmica como propuesta de aprovechamiento del residuo de raquis proveniente de la industria extractora de aceite de palma. Se empleó la fibra extraída del raquis de palma como refuerzo y una mezcla de alcohol polivinílico / almidón de oca modificado químicamente como matriz.

Inicialmente, se realizó la caracterización físico-química de la fibra, misma que consistió en establecer los contenidos de humedad, lignina y celulosa. Posteriormente, se procedió a elaborar diferentes formulaciones del material bajo las siguientes variaciones: contenido de fibra (10 %, 20 %, 30 % y 40 %), el tamaño de la fibra (0,42 mm y 0,60 mm) y temperatura de compresión (60°C, 80°C y 100°C), generando un total de ocho formulaciones. Finalmente, para identificar las posibles aplicaciones del material compuesto se efectuó una caracterización mecánica básica de tracción-deformación en términos de módulo de tracción, resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. A partir de los resultados de comportamiento mecánico, se evidenció que entre las formulaciones establecidas el mejor material corresponde a la temperatura de 100°C, contenido de la fibra de 10% y tamaño de la misma de 0,60 mm; adicionalmente, se determinó que el material tiene potencial para ser usado en transporte de semillas, embalaje, siembra y contenedores de plantas.

**Palabras clave:** material compuesto, raquis, fibra, PVA, almidón.

## ABSTRACT

In the present work, a composite material was made by thermal compression as a proposal to take advantage of the empty fruit bunch (EFB) from the palm oil extraction industry. The fiber extracted from the EFB was used as reinforcement, and a mixture of polyvinyl alcohol / chemically modified oca starch as matrix.

Initially, the physical-chemical characterization of the fiber was carried out, which consists on the moisture, lignin and cellulose contents. Subsequently, different formulations of the material were prepared under the following variations: fiber content (10%, 20%, 30% and 40%), fiber size (0,42 mm and 0,60 mm) and temperature compression (60°C, 80°C and 100°C), generating a total of eight formulations. Finally, to identify the possible applications of the composite, a basic mechanical characterization traction-deformation was performed in terms of modulus, tensile strength and elongation at break. From the results of mechanical behavior, the best material formulation corresponds to the temperature of 100°C, fiber content of 10% and its size of 0,60 mm; additionally, it was determined that the material has the potential to be used in seed transport, packaging, planting and plant containers.

**Keywords:** composite, empty fruit bunch, fiber, PVA, starch.

## PRESENTACIÓN

En este trabajo se describe una propuesta de aprovechamiento de los residuos de raquis provenientes de la industria aceitera ecuatoriana, mediante moldeo por compresión, para la formulación de materiales no convencionales.

La investigación consta de cinco capítulos que se describen a continuación:

El capítulo 1 “Introducción”, comprende los antecedentes, la finalidad del presente trabajo junto con su alcance; adicionalmente, se describe la hipótesis y justificación.

El capítulo 2 “Marco Teórico”, aborda los fundamentos teóricos necesarios para la elaboración de los materiales compuestos, tales como la descripción de sus constituyentes: la fibra que se encuentra en el EFB obtenido en la extracción de aceite de palma, adhesivo con base en alcohol polivinílico y almidón de oca modificado. Además, se contemplan las generalidades, clasificación e impactos ambientales de los composites.

En el capítulo 3 “Metodología”, se detalla los procedimientos usados durante el desarrollo del presente trabajo, que inicia con el levantamiento de la línea base, seguido por la caracterización inicial de la fibra proveniente del raquis de palma, la elaboración de los materiales compuestos por medio de compresión térmica y su posterior caracterización mecánica básica.

El capítulo 4 “Resultados y Discusión”, establece una línea base en cuanto a la generación de residuos, específicamente en cuanto al raquis de palma en la zona de Santo Domingo – La Concordia. También presenta los resultados de la caracterización realizada tanto de la fibra como del material compuesto con sus respectivos análisis estadísticos y discusión.

Finalmente, el capítulo 5 “Conclusiones y Recomendaciones”, enuncia las conclusiones obtenidas a partir de los resultados en concordancia con los objetivos planteados y las sugerencias que pueden ser consideradas en futuros estudios.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El cultivo de palma africana es una de las actividades agrícolas de mayor importancia a nivel nacional que en las últimas décadas se ha establecido principalmente en la región costa. A dicha plantación a través de los años se le atribuyó el nombre de “cultivo redentor o social” ya que más del 90% de los integrantes de este sector corresponde a los pequeños y medianos productores; gracias a lo anteriormente mencionado ha permitido que esta actividad se consolide como un eje de desarrollo social (Lasso, 2018) (Alvarez & Nicolalde, 2018).

De acuerdo con la encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se ubica en tercer lugar en cuanto a producción únicamente superado por el banano y la caña de azúcar (INEC, 2018). En el año 2017, las estadísticas internacionales posicionaron a Ecuador en séptimo lugar a nivel mundial en la lista de países productores de aceite de palma (Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

Actualmente el sector palmicultor ha presentado problemas fitosanitarios y comerciales que han tenido como consecuencia un decrecimiento de precios del aceite de palma en el mercado nacional y afectaciones en las exportaciones (Fedepalma, 2010). No obstante, cifras del INEC indican que es el primer cultivo permanente en cuanto a superficie plantada a nivel nacional (INEC, 2018); es por ello que el estado ecuatoriano ha tomado medidas de acción para prevenir la posible disminución de esta actividad; entre las más destacadas se encuentran la firma de acuerdos comerciales para expandir el mercado internacional y la producción de agrocombustibles a partir de los residuos sólidos generados (Lasso, 2018).

En cuanto a su problemática ambiental, se puede mencionar que a través de los años ha generado importantes impactos de pequeña y gran escala como la excesiva generación de residuos, tanto en la producción de palma africana como en la extracción de aceite, hasta el aumento de la tasa de deforestación afectando la biodiversidad así como también, la calidad del aire, agua y suelo (Lasso, 2018).

Adicionalmente, datos del atlas bioenergético de Ecuador indican que anualmente cada tonelada de aceite de palma producido genera 2,60 toneladas de desechos sólidos (Instituto Nacional de Preinversión, 2014). Los residuos provenientes de esta industria conllevan una problemática ambiental en torno a su cantidad y tipo, ya que la inadecuada gestión de los mismos ocasiona proliferación de vectores biológicos, afectaciones a los cuerpos de agua, emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros (Vera, 2016).

Por lo antes expuesto y con el objetivo de ofrecer una alternativa amigable con el ambiente, el presente trabajo plantea el desarrollo de un material compuesto de matriz de alcohol polivinílico (PVA) y almidón de oca modificado con refuerzo de fibra del residuo de raquis.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. GENERAL**

Elaborar una propuesta de aprovechamiento de los residuos de raquis provenientes de la industria aceitera ecuatoriana para la formulación de materiales no convencionales obtenidos mediante moldeo por compresión.

### **1.2.2. ESPECÍFICOS**

- Realizar el levantamiento de la línea base de la generación de residuos de la industria de extracción de aceite de palma, por medio de revisión bibliográfica y visitas de campo, para definir el estado actual de la problemática respecto a residuos.

- Caracterizar el residuo de raquis proveniente de la industria extractora de aceite de palma africana por medio de ensayos físicos y químicos para determinar las propiedades del residuo a emplearse.
- Estudiar la influencia de la temperatura, contenido y tamaño de fibra en el moldeo por compresión, para alcanzar la procesabilidad de un material compuesto.
- Analizar el comportamiento mecánico de los materiales obtenidos en términos de resistencia a la tracción para establecer posibles aplicaciones.

### **1.3. ALCANCE**

El presente trabajo de titulación busca ofrecer una solución con la menor cantidad de impactos sobre el ambiente al problema de residuos de la industria extractora de aceite de palma, específicamente al raquis, mediante la elaboración de un material reforzado con fibra de raquis en una matriz de PVA y almidón de oca modificado químicamente.

El proyecto se llevó a cabo en cuatro fases:

1. Levantamiento de la línea base de las industrias extractoras de aceite de palma en la zona Santo Domingo – La Concordia mediante encuestas y visitas de campo.
2. Acondicionamiento de la materia prima: consistió en la recolección de las muestras de los residuos de raquis provenientes de la zona de Santo Domingo – La Concordia, su selección, eliminación de impurezas, extracción de fibra, molienda y tamizado.
3. Caracterización fisicoquímica de la materia acondicionada: se realizó por medio de ensayos para determinar la humedad de las muestras, la cantidad de lignina y celulosa.

4. Elaboración del material compuesto y caracterización mecánica básica mediante el ensayo de tracción.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

Los residuos de raquis generados en la extracción de aceite de palma son susceptibles de ser empleados como refuerzo para materiales compuestos con matriz de PVA y almidón de oca modificado.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN**

El sector de aceite de palma es uno de los pilares de la economía nacional y aporta al equilibrio de la balanza comercial del país. Este sector constituye el 0,89% al PIB nacional con una superficie neta de cultivo de palma de 267 760 ha y una producción de 566 929 toneladas de aceite anuales, que a su vez representan el 74,1% de la totalidad los productos exportados (Alvarez & Nicolalde, 2018)(Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

La industria extractora de aceite de palma genera 6 872, 47 toneladas de residuos sólidos por año (Calderón, Andrade, Lizarzaburu, & Masache, 2017), por lo que su incorrecta gestión puede ocasionar un grave impacto ambiental, debido fundamentalmente a la proliferación de comunidades biológicas propensas a transmitir enfermedades, taponamientos en los sistemas de drenaje de las cuencas hidrográficas que conllevan a inundaciones o desabastecimiento de agua, gases y olores desagradables ocasionados por los procesos de descomposición; y por ende lo anteriormente mencionado causa principalmente el deterioro de la calidad del aire, suelo y agua afectando directamente la salud de las personas que se desenvuelven en dicho sector (Vera, 2016) (Schoneveld, German, & Nutako, 2011).

Con el afán de proponer soluciones a la problemática de manejo de los residuos generados por la industria aceitera se han desarrollado varias iniciativas, entre las que se destacan: la producción y comercialización de abono agrícola mediante el compost de la palma africana (Mosquera, 2016), obtención de biomasa y combustible (Del Hierro, 1993) (Nuñez, Ulloa, Gil, Montalvo, & Vargas, 2012)

(Zapata, 2016). Cabe recalcar que existen otras alternativas menos convencionales como el uso del residuo de raquis de palma africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos (Páliz, 2015), biocombustibles (Posso & Durán Altisent, 2009) y generación de energía (Miranda H., Schuchardt F., Wulfert K., 2007).

Es importante mencionar que existen muy pocos estudios sobre composites elaborados a partir de matrices biodegradables y fibra proveniente de residuos de raquis de la industria extractora de aceite de palma. Es por ello que con este trabajo de titulación se desea establecer las condiciones técnicas básicas de un proceso productivo amigable con el ambiente para beneficio de la sociedad y de esta manera brindar una alternativa de uso de la gran cantidad de residuos que genera la industria extractora de aceite de palma.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

El cultivo y extracción de palma ha tenido una influencia a nivel mundial de más de 5000 años. Su origen se dio en África Ecuatorial Occidental y en el siglo XIX llegó a América desde Europa en barcos que comerciaban las semillas (Aguinaga, 2015).

Para el año de 1953, Ecuador deseaba disminuir las importaciones de aceite de cocina, es por ello que se optó por cultivar palma africana y extraer su aceite (Potter, 2010). Sus inicios se dieron en las zonas de Santo Domingo de los Tsáchilas y Quinindé, se escogieron estos lugares debido a las condiciones atmosféricas adecuadas para el crecimiento de esta plantación (Lasso, 2018).

En 1967 ya se habían sembrado aproximadamente 1 000 hectáreas de cultivo, lo cual llevó al rápido crecimiento de esta industria aceitera y con ello la fundación de los dos gremios más representativos en cuanto a la producción de palma aceitera y sus derivados; en primer lugar, se creó la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) en el año 1970 y después en 1993 se instauró la Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Natural (FEDEPAL) (Salas, 2009).

La última gran expansión del cultivo de palma africana tuvo sus inicios en 1998 y se produjo en la zona de San Lorenzo provincia de Esmeraldas debido principalmente al bajo costo de las tierras, lo cual a su vez llevó a su deforestación y la construcción de nuevas carreteras. Adicionalmente, los propietarios de las grandes empresas de extracción de aceite de palma ubicadas en Santo Domingo y Quevedo migraron a la zona antes mencionada con la finalidad de mejorar su producción (Potter, 2010).

Entre los años 1995 y 2005 las hectáreas cultivadas de palma africana se incrementaron de 106 000 a 207 000 ha (Potter, 2010). Según los resultados de las Encuestas de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), para el año 2018 se han mantenido plantadas 267.760 ha (INEC & ESPAC, 2019); de igual forma es importante mencionar que el máximo valor de área cultivada se presentó en el año 2014 con 374 878 ha plantadas (INEC, 2014).

### **2.1.2. GENERALIDADES E IMPORTANCIA ECONÓMICA**

De acuerdo con datos obtenidos en el boletín técnico de la ESPAC, para el año 2018 la palma africana se posicionó en el tercer lugar en cuanto a producción de cultivos permanentes con 2 785 756 toneladas métricas, de las cuales el 42,50% corresponde a la provincia de Esmeraldas, le sigue Los Ríos y Santo Domingo de los Tsáchilas con 14,10% y 8,70%, respectivamente (INEC & ESPAC, 2019).

Del fruto que se obtiene de dicha plantación se extrae el aceite crudo, el cual sirve como materia prima para diversos productos tales como biocombustibles, jabones, confitería, mantequillas, cosméticos, pinturas, velas, cremas para zapatos, tinta de imprenta, entre otros (Salas, 2009) (Mingorance & Minelli, FlaminiaLe Du, 2018).

La extracción del aceite aporta al Producto Interno Bruto (PIB) Agrícola Nacional por medio de su venta como materia prima en el mercado nacional e internacional con un porcentaje de 4,5% durante el periodo 2010 a 2019 como se detalla en la Tabla 1 (Holguín, 2018).

Adicionalmente, este sector debido a sus exportaciones y expansiones en el territorio nacional resulta de gran importancia para el país ya que permite que se fortalezca la industria de producción no petrolera y no tradicional. (Ministerio de Comercio Exterior, 2017)

**Tabla 1. Extracción de aceite en el PIB agrícola del Ecuador**

<b>Año</b>	<b>%PIB Agrícola</b>
2010	4,80
2011	5,00
2012	5,20
2013	4,50
2014	4,40
2015	4,60
2016	4,70
2017	4,00
2018	4,40
2019	3,00

Fuente: (ANCUPA, 2017b) (Banco Central del Ecuador, 2016) (El Telegrafo, 2019) (Holguín, 2018)

### **2.1.3. RESIDUOS DE LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA**

#### **2.1.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS**

La clasificación cuantitativa más común que tienen los residuos de la extracción de aceite de palma y sus usos se pueden apreciar en la Tabla 2; cabe recalcar que la información expuesta a continuación se enfoca en los principales residuos sólidos generados a partir del proceso productivo de esta industria (Ramírez, Silva, Garzón, & Yáñez, 2011). A nivel mundial, cada año se producen 40 millones de toneladas de raquis, aproximadamente 20 millones de toneladas de fibra y entre 10 a 15 millones de toneladas de cuesco (Van Dam, 2016). En Ecuador, se encuentra que 6872.47 toneladas anuales de residuo corresponden a esta actividad y esta cifra representa el 47% del racimo de fruta fresca (RFF) alimentada al inicio del proceso de producción (Instituto Nacional de Preinversión, 2014).

**Tabla 2. Principales residuos sólidos de la extracción de aceite de palma**

<b>Residuo</b>	<b>Porcentaje de Generación (%)</b>	<b>Uso Principal</b>
Raquis	23	Abono orgánico en las plantaciones
Fibra mesocárpica	14	Combustible en calderas y abono
Cuesco	7	Combustible y adecuación de vías internas
Lodo (torta)	6	Abono para plantación y alimento de ganado
Efluentes líquidos	45	No aplica
Otros	5	Depende del residuo pero se puede resaltar reciclaje, abono.

Fuente: (Minambiente & Fedepalma, 2002)

Los subproductos que se obtienen como residuo final de los procesos de rompimiento de la nuez y prensado del fruto de la palma son el cuesco y la fibra mesocárpica, respectivamente (Ramírez et al., 2011). Mientras que el raquis, tusa o racimo de fruto vacío (RFV) proviene del desfrutado y prensado del RFF (Ramírez et al., 2011); adicionalmente, de acuerdo a estudios bibliográficos comparativos, se generan 100 kg más de RFV que de aceite crudo obtenido de la extracción (Ramírez et al., 2011).

Desde el punto de vista de la composición química de los residuos, en general, éstos se componen principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina; en el caso particular del raquis se encuentran valores de celulosa entre 13,75 y 65,00 %, de lignina entre 7,99 y 30,45 % y para el porcentaje de humedad se encuentran datos que varían de 2,40 a 14,28 % (Anyaocha, Sakrabani, Patchigolla, & Mouazen, 2018) (Loboguerrero, 2007) (Chang, 2014) (Ramírez et al., 2011).

### **2.1.3.2. APLICACIONES COMUNES DEL RAQUIS**

El raquis de palma africana ha sido estudiado a través de la últimas décadas con la finalidad de aprovechar este residuo como materia prima y de esta forma brindar

diferentes aplicaciones al mismo, entre los usos más comunes se destacan la generación de energía y la reutilización dentro de los cultivos (Elbersen, 2013) (FEDEPALMA, 2013).

En cuanto a la generación de energía el RFV sirve como combustible para encender antorchas, producir vapor y principalmente en calderas, cuya ceniza resultante se coloca como recubrimiento para los cultivos (mulch). Adicionalmente, la tusa es alimentada en biodigestores que permiten obtener biogás (Elbersen, 2013) (FEDEPALMA, 2013) (Posso & Durán Altisent, 2009) (Shuit, Tan, Lee, & Kamaruddin, 2009) (Traña, 2009) (Ramírez et al., 2011) (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. & Centro de Investigación en Palma de Aceite., 1995) (Shuit et al., 2009) (Elbersen, 2013) (Abdullah & Gerhauser, 2008).

Dentro de los cultivos existen múltiples formas de reutilizar el raquis debido a su gran contenido de potasio, nitrógeno, fósforo y magnesio, los cuales son macronutrientes para el crecimiento de las plantas, es por ello que resulta ser un aporte de elementos esenciales o microorganismos en forma de abono, compostaje y fertilizante (Del Hierro, 1993) (Ramírez et al., 2011) (Van Dam, 2016) (FEDEPALMA, 2013) (Shuit et al., 2009) (Quesada, 2005) (Mosquera, 2016) (R. Torres, Acosta, & Chinchilla, 2007).

### **2.1.3.3. OTRAS APLICACIONES DEL RAQUIS**

Dentro de las diversas aplicaciones que se han encontrado para el RFV en esta sección se destacan aquellas que, por los tratamientos físicos y químicos que se han realizado al residuo, le dan un valor agregado al mismo. En el primer caso, cabe señalar procesos como compresión térmica, secado, reducción de tamaño, mezclas e incineración para obtener aplicaciones como tableros, tratamientos de aguas residuales, ladrillos ecológicos, pellets, entre otros. Para el caso de los tratamientos químicos, se elaboran subproductos tales como biocombustibles, aceite de pirólisis, bioetanol, biofiltros, bioplásticos, sustituto de musgo esfagnáceo, pulpa de papel, químicos con base biológica, materiales compuestos, biocrudo y biocarbón por medio de hidrólisis, tratamiento alcalino y ácido, pirólisis, catalización, conversión hidrotérmica, eliminación de potasio y cloro. (Mejía, 2012) (Sangucho &

Rodriguez, 2018) (Páliz, 2015) (Van Dam, 2016) (FEDEPALMA, 2013) (Posso & Durán Altisent, 2009) (Aguinaga, 2015) (Shuit et al., 2009) (Elbersen, 2013) (Del Hierro, 1993) (Pineda & Durán, 2019) (Isroi, Cifriadi, Panji, Wibowo, & Syamsu, 2017) (Solano, 2010) (Noorunnisa & AlMaadeed, 2014) (Kakou et al., 2014) (Mulinari, Marina, Lopes, & Materials, 2015) (Rozman, Saad, & Mohd Ishak, 2002) (Shinoj, Visvanathan, Panigrahi, & Kochubabu, 2011)

#### **2.1.4. IMPACTO AMBIENTAL**

A nivel mundial la palma aceitera es el monocultivo agrícola de mayor expansión, según datos de Index Mundi, Ecuador es el país con la mayor tasa de crecimiento anual con 8,62% (Index Mundi, 2019). Este crecimiento ha provocado impactos ambientales tanto en la etapa de cultivo como en la extracción del aceite de palma (Reyes & Rodríguez, 2017) (T. Hernández & Beltrán, 2010).

Los impactos que se generan debido a esta industria inician en la fase agrícola con el acondicionamiento de las tierras, siembra, cultivo, poda, cosecha y renovación de plantaciones. Dentro de estas etapas las mayores afectaciones se refieren al cambio del uso del suelo, deforestación por medio de tala e incendios, pérdida de biodiversidad, alteración de la movilidad de la fauna, destrucción de ecosistemas y de los servicios ambientales que estos aportan, liberación de gases de efecto invernadero (GEI), emisiones de carbono a la atmósfera, modificación y contaminación de los recursos agua, suelo y aire. Las principales alteraciones a los recursos naturales se presentan en la Tabla 3. (Schoneveld et al., 2011) (Colchester, 2011) (Isaac-Márquez et al., 2016) (ANCUPA, 2017a) (Collahuazo, 2015) (WRM, 2001) (GRAIN, 2013) (Samson, 2010) (Fitzherbert et al., 2008) (Koh & Wilcove, 2008) (Wicke, Sikkema, Dornburg, & Faaij, 2011) (Pardo, Laurance, Clements, & Edwards, 2015) (Edwards et al., 2010) (Danielsen et al., 2009) (Holguín, 2018) (García, 2013) (Reyes & Rodríguez, 2017) (Reijnders & Huijbregts, 2008) (Schmidt, 2010) (Van Dam, 2016) (Yusoff & Hansen, 2007) (Choo et al., 2011)

**Tabla 3. Impactos ambientales en fase de cultivo**

<b>Recurso Afectado</b>	<b>Impactos Ambientales</b>
Suelo	Alteración sistemas naturales Alteración de la estructura, características bioquímicas y actividad biológica del suelo Pérdida de la capa orgánica y nutrientes Cambio del uso del suelo Erosión Desestabilización e incremento de fragilidad Compactación Contaminación por productos químicos y por mal manejo de residuos Acidificación Infiltración de lixiviados
Agua	Alteración de la calidad de agua por descargas y lixiviados Contaminación en acuíferos y nacederos Eutrofización Desequilibrio en la regulación hídrica Agotamiento recursos hídricos
Aire	Producción de material particulado por quemas e incendios Contaminación por volatilidad de productos químicos Ingreso de contaminantes debido a fumigaciones aéreas
Biodiversidad	Pérdida de biodiversidad Desplazamiento de especies Alteración de áreas especiales Alteración de la actividad biológica de las especies nativas Alteración de paisaje y proliferación de vectores por inadecuado manejo de residuos sólidos

Fuente: (Reyes & Rodríguez, 2017)

Varios autores consideran que la actividad de extracción de aceite de palma ocasiona diversas problemáticas ambientales asociadas a la inadecuada gestión de los residuos generados (Van Dam, 2016) (Reyes & Rodríguez, 2017) (T. Hernández & Beltrán, 2010); la gran cantidad de raquis puede ocasionar olores desagradables debido a procesos de descomposición, riesgo de contaminación de recursos naturales (Fitzherbert et al., 2008) (Koh & Wilcove, 2008) (Wicke et al., 2011), proliferación de vectores biológicos, afectación a la flora y fauna,

taponamiento de cuencas hidrográficas y demás; los problemas específicos de esta fase se encuentran detallados en la Tabla 4 (CORMACARENA, 2012) (Vera, 2016).

**Tabla 4. Impactos ambientales en fase de extracción**

<b>Recurso Afectado</b>	<b>Impactos Ambientales</b>
Suelo	Alteración de la estructura y características bioquímicas del suelo Acidificación Compactación Contaminación por productos químicos y por mal manejo de residuos Infiltración de lixiviados
Aire	Emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) Contaminación auditiva (vibraciones y ruido) Descargas de material particulado y gases a la atmósfera Grandes cantidades de metano liberadas a la atmósfera
Agua	Alteración de recursos hidrobiológicos Alteración de la calidad de agua por descargas de aguas residuales no tratadas, aceite, lixiviados y arrastre de sólidos en suspensión Agotamiento recursos hídricos Colmatación de las lagunas con lodos biológicos Eutrofización Contaminación de agua freática por procesos de infiltración y percolación
Biodiversidad	Proliferación de vectores

Fuente: (T. Hernández & Beltrán, 2010)

De acuerdo con la información anterior, se considera que la industria extractora de aceite de palma genera una cantidad considerable de impactos negativos sobre el ambiente, los cuales se han intentado contrarrestar mediante la disminución de los

daños o alteraciones significativas en los ecosistemas aledaños como las selvas tropicales o bosques húmedos (Hoffmann, Scherhorn, & Busch, 2004) (Samson, 2010).

## **2.2. ADHESIVO CON BASE EN PVA Y ALMIDÓN MODIFICADO**

### **2.2.1. GENERALIDADES**

Desde la antigüedad se ha tenido la necesidad de unir estructuras usando diferentes sustancias que actuaban como adhesivos entre las que se encuentra la sangre, brea, caucho y otras que se obtienen a partir de procesos más complejos como la caseína de la leche, las proteínas de soya y los adhesivos de colágeno. Para el año 1930, los materiales antes mencionados fueron reemplazados por elementos sintéticos con la finalidad de mejorar las propiedades del pegamento (Gadhawe, Mahanwar, & Gadekar, 2017).

En 1985, debido a su bajo costo, se empezó a considerar el uso del almidón como materia prima para obtener productos amigables con el ambiente y por ello se han venido investigando formas para que sus propiedades sean iguales o superiores a las sustancias a base de petróleo (Pizzi & Mittal, 2017).

Para mejorar los atributos de los materiales adherentes se han desarrollado modificaciones a los almidones que, de acuerdo a Neelam, Vijay, & Lalit (2012) pueden ser físicas, químicas, enzimáticas y genéticas.

- La modificación física del almidón cambia la estructura granular para mejorar su solubilidad en agua fría o convertirlo en almidón cristalino. Se clasifica en: tratamiento de calor-humedad, recocado, retrogradación, congelación, tratamiento de ultra alta presión, tratamiento de plasma de descarga de resplandor, tratamiento de presión osmótica, inhibición termal y gelatinización.
- En la modificación enzimática se trata de exponer las suspensiones de almidón a una cantidad de enzimas que pueden producir derivados altamente funcionales, las más usadas son enzimas hidrolizantes.

- La modificación genética usa tecnología transgénica que se reproduce en procedimientos como: almidón sin amilosa, almidón alto en amilosa y estructura de amilopectina alterada.
- La modificación química tiene por objetivo cambiar las propiedades fisicoquímicas, introduciendo grupos funcionales en la molécula de almidón. Las técnicas son: eterificación y esterificación, reticulación, tratamiento ácido, oxidación y modificación dual. Como caso especial, la modificación de urea permite obtener carbamatos (Menzel et al., 2017) (Silva, Molina, Aldás, Valle, & Proaño, 2018), los cuales hacen que el almidón mejore sus propiedades como plastificante y por tanto se espera que el adhesivo tenga una mayor resistencia al agua, viscosidad y estabilidad (Borja, Valle, & Molina, 2020) (Menzel et al., 2017) (Ferdosian, Pan, Gao, & Zhao, 2017).

Con la finalidad de enfrentar la problemática ambiental asociada a la materia prima no renovable, se han implementado adhesivos con base en diferentes tipos de almidones (tapioca, maicena, yuca, papa y oca) y polímeros biodegradables como el PVA, ácido poliláctico, entre otros. (Ismail & Zaaba, 2011) (Sreekumar, Al-Harhi, & De, 2012) (Tudorachi, Cascaval, Rusu, & Pruteanu, 2000) (Luo, Li, & Lin, 2012) (S. Imam, Gordon, Chen, & Mao, 2001) (Meneses, Corrales, & Valencia, 007) (Ramaraj, 2007) (Pilla, 2017) (Silva et al., 2018) (Borja et al., 2020)

### **2.2.2. PROPIEDADES**

Las propiedades que el adhesivo adquiere durante su formulación se deben a sus elementos constitutivos; en general, se puede establecer dos grupos: agentes plastificantes y lubricantes. En el primer grupo se encuentran el agua, glicerol, etanol, almidón modificado y PVA que producen una reducción en el valor de temperatura de fusión y temperatura de transición vítrea, otorgando plasticidad y cambiando el comportamiento reológico; mientras que, en el segundo grupo, se destaca el aceite vegetal, el cual permite que la mezcla sea manejable y que no se fije en los moldes de los equipos de trabajo. (Enríquez, Velasco, & Ortiz, 2012) (Tudorachi et al., 2000) (Ismail & Zaaba, 2011) (Ferdosian et al., 2017) (Meneses et al., 2007)

### **2.2.3. USOS**

Las aplicaciones para los adhesivos son diversas y se encuentran en diferentes industrias como la farmacéutica, textil, agroindustria, papel, cartón, pinturas y salud; las más comunes son aglutinantes, materiales de encolado, materiales de apresto, pegamentos, pastas y espesantes mientras que se ha innovado con su uso en contenedores de siembra, implantes de reemplazo óseo, cementos óseos, sistemas de administración de medicamentos, fabricación de bolsos, elaboración de tubos en espiral, etc. (M. Hernández & Vergara, 2008) (Neelam et al., 2012) (Pizzi & Mittal, 2017) (Gadhve et al., 2017) (Martín, 2017).

### **2.2.4. IMPACTO AMBIENTAL**

Comúnmente los adhesivos se elaboran a partir de resinas sintéticas termoestables tales como fenol formaldehído, úrea formaldehído, melanina formaldehído, entre otros. Dichas sustancias se consideran nocivas para la salud y el ambiente debido a su elevada toxicidad, lo cual a su vez genera impactos sobre la fauna, flora y la calidad de los recursos suelo, aire y agua (Ferdosian et al., 2017) (Quevedo, 2015).

La problemática que se encuentra entorno a la producción de adhesivos se debe principalmente a sus componentes provenientes de recursos no renovables que generan afectaciones a lo largo de su ciclo de vida modificando la calidad el aire, suelo y acuíferos (Silva et al., 2018) (Packham, 2009). Esta situación provoca que los flujos ecológicos en los que participa no tengan un cierre, es por ello, que este proceso se considera de poca o nula sostenibilidad (Hemmilä, Trischler, & Sandberg, 2013) (Packham, 2009).

Los factores ambientales sobre los cuales recaen los impactos que se ocasionan durante la elaboración de los adhesivos son el suelo y el agua por los posibles derrames de los químicos usados como materia prima en el proceso de producción, que como ya se mencionó anteriormente poseen características tóxicas. Por otro lado, el aire debido a las emisiones de gases efecto invernadero principalmente el dióxido de carbono proveniente del uso de componentes derivados del petróleo. También se encuentran posibles fugas de compuestos orgánicos volátiles que pueden llegar a deteriorar la capa de ozono (TUK, 2012).

Inicialmente, en la extracción de las materias primas para la elaboración de los adhesivos se encuentran elementos que se obtienen a partir del petróleo (Silva et al., 2018) (Ismail & Zaaba, 2011) (Meneses et al., 2007) (Enríquez et al., 2012) (Zanela, Casagrande, Shirai, De Lima, & Yamashita, 2016) (Sreekumar et al., 2012); y durante el desarrollo del proceso en sus diferentes etapas como mezclado, enfriamiento, envasado, almacenamiento se generan desechos que consisten en envases vacíos, aguas residuales, material contaminante, ruido y gases de combustión que dependiendo de su disposición final ocasionarán diferentes niveles de impactos al ambiente (MAE, 2013).

Por lo anteriormente mencionado, se han desarrollado soluciones amigables con el ambiente como adhesivos con base en almidones que, por ser un recurso renovable de bajo costo, alta disponibilidad y biodegradabilidad (Gadhavé et al., 2017), resultan ser una potencial alternativa para ser usados en lugar de aquellos que contienen elementos sintéticos. Además, gracias a los avances en el campo de los materiales adherentes producidos a partir de sustancias vegetales se han obtenido resultados que permiten comparar las propiedades mecánicas e identificar potencialidades de reemplazo a los tradicionales (Pizzi & Mittal, 2017) (Hemmilä et al., 2013) (Gadhavé et al., 2017).

## **2.3. MATERIALES COMPUESTOS**

### **2.3.1. GENERALIDADES**

Los materiales compuestos se conforman de dos o más fases y su característica principal es que sus propiedades finales son mayores a la suma de sus componentes individuales (Moral & Nogueira, 2007) (Stupenengo, 2011) (Dávila et al., 2011).

Adicionalmente, los composites se forman por la interacción de una matriz (fase continua) que puede ser cerámica, metálica o polimérica y un refuerzo (fase dispersa) que puede conformarse por partículas y/o fibras. Con respecto al primer elemento, se puede decir que su finalidad es el soporte de la fase dispersa, además de transferir la carga a las partículas y/o fibras y proporcionar una barrera con el entorno. En el caso del segundo elemento, influye en características como

resistencia, densidad, rigidez y conductividad del material compuesto (Stupenengo, 2011) (Dávila et al., 2011) (Mallick, 2007).

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, se ha encontrado que las fibras de la RFV son aptas para componer la fase dispersa debido a la elevada cantidad de celulosa y lignina, logrando aumentar los valores de las propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, módulo de tracción y alargamiento a la rotura (Sreekala, Kumaran, Geethakumariam, & Thomas, 2014) (Shinoj et al., 2011) (Enríquez et al., 2012).

Al estudiar los materiales compuestos se requiere entender la interacción entre la matriz y el refuerzo para determinar su compatibilidad en el momento de la formación de la interfaz, es decir, el tipo de enlace, bien sea de primer, segundo o tercer orden que se puede propiciar entre los componentes del composite; es por ello, que en la Tabla 5 se presentan los grupos funcionales que, de acuerdo a bibliografía, están asociados a las interacciones entre PVA, almidón y fibra.

**Tabla 5. Grupos funcionales**

Polímeros		Grupos Funcionales	Referencia
PVA		Hidroxilo (OH), isopropilo (CH), 1-metileno (CH <sub>2</sub> )	(Razzaq & Javaid, 2015) (Khalil, Ismail, Rozman, & Ahmad, 2001) (Le Troedec et al., 2008) (Nacos et al., 2006) (Gaaz et al., 2015)
Almidón modificado	Carbamatos	Hidroxilo (OH), éster (COO)	(Menzel et al., 2017) (Wang, Cheng, & Zhu, 2014) (Velazquez, 2015) (Zhang et al., 2013)
Fibra de EFB	Lignina	Isopropilo (CH), carbonilo (C = O), hidroxilo (OH)	(M. Torres, 2019) (Owi, Lin, Sam, Villagrancia, & Santos, 2017) (Kumar, Negi, Bhardwaj, & Choudhary, 2012) (Lani, Ngadi, Johari, & Jusoh, 2014) (Lisdayana,

			Fahma, Sunarti, & Iriani, 2018)
	Celulosa	Hidroxilo (OH), isopropilo (CH), carbonilo (C=O)	(M. Torres, 2019) (Lani et al., 2014) (Lisdayana et al., 2018)
	Hemicelulosa	Isopropilo (CH), acetil (COCH <sub>3</sub> ), éster (COO)	(M. Torres, 2019) (Owi et al., 2017) (Kumar et al., 2012) (Lani et al., 2014) (Lisdayana et al., 2018)
	Ceras, grasas y aceites	Éster (COO), isopropilo (CH), 1- propilo (CH <sub>2</sub> ), metilo (CH <sub>3</sub> )	(Estupiñan & Prada, 2018) (Bakar, Hassan, & Mohd Yusof, 2006) (Isroi et al., 2012)

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Cabe mencionar que con base en la Tabla 5 se realizará el correspondiente análisis y discusión de resultados de la interacción entre matriz y refuerzo del material compuesto.

### 2.3.2. CLASIFICACIÓN

Dentro de los materiales compuestos existen diversas clasificaciones, que dependen del material de refuerzo y de la matriz. Un enfoque es el propuesto por Callister (2016), en el que se clasifica de acuerdo con la fase dispersa, tal como se presenta en el Gráfico 1.

**Gráfico 1. Clasificación de materiales compuestos según el refuerzo**



Fuente: (Callister, Rethwiesch, Molera, & Ballesteros, 2016)

En cuanto a la división asociada a la fase continua, se puede encontrar matrices poliméricas termoestables y termoplásticas, a continuación, la Tabla 6 presenta un resumen de las características de cada una de ellas.

**Tabla 6. Comparación de las matrices termoplásticas y termoestables**

<b>Característica</b>	<b>Termoplástico</b>	<b>Termoestable</b>
<b>Solubilidad</b>	En algunos disolventes orgánicos	Insolubles
<b>Comportamiento con el calor</b>	Se ablandan cuando se calientan y se endurecen al enfriarse	Una vez que se endurecen (curado), no se ablandan al proporcionarles calor
<b>Estructura</b>	Lineal / ramificada	Entrecruzada y reticulada (estructura de red rígida y tridimensional)
<b>Enlace</b>	Fuerzas intermoleculares como fuerzas de Van der Waals	Enlace covalente

Fuente: (Dávila et al., 2011)(Mallick, 2007)(Callister et al., 2016)(Besednjak, 2009)

Con respecto a las matrices termoplásticas con una fase dispersa de fibras naturales, se conoce que existen dos tipos: la primera son los plásticos convencionales como polietileno (PE) de alta y baja densidad así como también polipropileno (PP) (Noorunnisa & AlMaadeed, 2014) (Tapia, Paredes, & Correa, 2014); y la segunda compuesta por elementos compostables como policaprolactona (PCL), polihidroxitirato (PHB) , poli(butileno) succinato (PBS), ácido poliláctico (PLA), alcohol polivinílico (PVA) y polihidroxicanoato (PHA) (Silva et al., 2018) (Riera & Palma, 2019) (Sabu, Mathew, Anne, & Yang, 2012) (Ismail & Zaaba, 2011).

En ambos casos la formulación del material compuesto se puede dar con un refuerzo con tamaños que varían de 1 mm a 2 cm, con porcentajes en peso entre 5 y 30 %. En algunos estudios, para mejorar la compatibilidad se realiza un tratamiento previo o se usan compatibilizantes. Con respecto al procesamiento del composite se puede nombrar a la inyección, extrusión y compresión térmica como métodos de transformación. Finalmente, la caracterización del producto final se realiza mediante pruebas mecánicas, térmicas, químicas y físicas (Priya, Gupta, Pathania, & Singha, 2014) (Chiellini, Cinelli, Chiellini, & Imam, 2004) (S. H. Imam, Cinelli, Gordon, & Chiellini, 2005) (Ibrahim, Farag, Megahed, & Mehanny, 2014) (Razzaq & Javaid, 2015) (Morsyleide et al., 2009) (Sarjadi, Aziz, & Rahman, 2018) (Noorunnisa & AlMaadeed, 2014) (Tapia et al., 2014).

Particularmente, las pruebas mecánicas permiten establecer la capacidad, comportamiento y aptitud que tiene un material para soportar las fuerzas y condiciones externas a las cuales se va a encontrar expuesto; es decir, los resultados obtenidos en los ensayos es uno de los factores de importancia para asignar el campo de aplicación del composite, que pueden ser de deformación, dureza, flexión, impacto, compresión, pero generalmente predomina el ensayo de tensión. Dichas pruebas permiten conocer propiedades como la resistencia a la tracción, elongación a la rotura, módulo de tracción, entre otras, las cuales determinan la máxima resistencia del material, la energía de unión entre los átomos y proporcionan una idea de las posibles aplicaciones que se le pueden dar al composite evaluado (Refort & Keil, 2012) (Askeland & Wright, 1998) (Callister et al., 2016).

### **2.3.3. IMPACTO AMBIENTAL**

La alternativa de los biocomposites surgió a partir de la preocupación del uso excesivo de plásticos convencionales, que hasta el día de hoy se mantiene (Jambeck et al., 2015); el principal problema relacionado a estos materiales es su tiempo de degradación, que debido a la descomposición conlleva a daños ambientales; el más importante es el impacto en la cadena trófica por la ingesta de plásticos en fauna marina (aves marinas, tortugas, peces, mamíferos e invertebrados) (Goldstein & Goodwin, 2013) y efectos adversos en la misma por

sustancias químicas persistentes, bioacumulativas y tóxicas (Rochman, Hoh, Kurobe, & Teh, 2013).

Lo anteriormente mencionado es consecuencia directa de la gran cantidad de plástico que se genera y finaliza su ciclo de vida sin la adecuada disposición final; de acuerdo con estudios desarrollados dentro de la temática de los desperdicios de este material que terminan en el océano se encuentra que 192 países costeros producen aproximadamente 275 millones de toneladas métricas de desechos plásticos que ingresan a este ecosistema; adicionalmente, se estima que para el año 2025 esta cantidad experimente un incremento del 15 al 40% (Jambeck et al., 2015).

Cabe recalcar que esta problemática ha aumentado a través de los años debido a que el plástico fue diseñado para un solo uso, esto se ve reflejado en las cifras presentadas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) donde únicamente el 9% de todos los desechos plásticos a nivel mundial han sido reciclados, el porcentaje restante ha sido dispuesto en rellenos sanitarios, vertederos o el ambiente, ocasionando innumerables impactos entre los que se puede mencionar bloqueo de las vías fluviales, proliferación de vectores biológicos y enfermedades asociadas, aumento de la intensidad de los desastres naturales, entre otros (ONU, 2018).

Por otro lado, los materiales compuestos biodegradables constituyen una opción amigable con el ambiente ya que generan un impacto negativo menor en comparación de los sintéticos en cuanto a varios aspectos en los que cabe destacar su baja afectación en la etapa de extracción (baja liberación de CO<sub>2</sub>, bajo consumo de energía, sin contaminación del suelo), sus componentes no generan sustancias tóxicas durante su descomposición, se puede recuperar energía a partir de su incineración sin la liberación de elementos con efectos nocivos para la salud, su tiempo de degradación (Jambeck et al., 2015). (Duflo, De Moor, Verpoest, & Dewulf, 2009) (Zah, Hischer, Leão, & Braun, 2007) (Deng et al., 2016) (Bensadoun, Vanderfeesten, Verpoest, Van Vuure, & Van Acker, 2016) (Mansor, Mastura, Sapuan, & Zainudin, 2019) (Meré, 2009)

A pesar de todos los estudios que se han desarrollado en torno a estos materiales, aún presentan desventajas comparadas con los plásticos convencionales entre las que se puede mencionar el mayor costo de producción (Stupenengo, 2011), las propiedades mecánicas (disminución de la resistencia a la tracción) (Mallick, 2007) y limitado ciclo de vida (mayor producción de olor, decoloración) (Meré, 2009).

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. LEVANTAMIENTO DE LA LÍNEA BASE**

Se procedió a la recopilación y procesamiento de datos bibliográficos mediante la selección de información sobre la situación actual de la industria aceitera ecuatoriana referente a la generación de residuos. Para ello se realizó la búsqueda en trabajos experimentales, publicaciones, fuentes oficiales, encuestas y visitas de campo a empresas que permitieron el acceso a la información de la zona Santo Domingo – La Concordia con su respectiva estructuración en función de su relevancia, pertinencia y vigencia, en términos de:

- Información de empresas grandes.
- Similitud de procesos tecnológicos.
- Manejo de la especie *Elaeis guineensis* (palma híbrida).
- Fecha de publicaciones más recientes.

Se realizaron dos visitas en el lugar de estudio, se recopiló la información por medio de encuestas a 8 empresas extractoras de aceite palma (Anexo 1), en donde se tuvo en cuenta el tipo, cantidad y uso de los residuos; luego, se procedió a tabular los datos obtenidos para su respectivo análisis.

#### **3.2. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE RAQUIS**

##### **3.2.1. ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA**

###### **3.2.1.1. RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS**

Los residuos fueron seleccionados y recolectados en la extractora Teobroma ubicada en el kilómetro 32 de la vía Santo Domingo – La Concordia (E20), para lo cual se tomó el raquis generado el día que salió del proceso de prensado en la producción.

### 3.2.1.2. SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Se eliminaron impurezas de las tusas que consistían en restos de plásticos, cauchos, flores no desarrolladas, frutos normales, frutos partenocárpicos y material producto de contaminación cruzada; a continuación, se secó el material a cielo abierto por alrededor de 72 horas (Mejía, 2012), finalmente se procedió al corte manual de la fibra hasta un tamaño entre 5 y 10 cm (Ibrahim et al., 2014).

### 3.2.1.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA FIBRA

Previo a la caracterización del RFV, se realizó un tratamiento que consistió en el secado de la fibra una estufa marca ECOCELL modelo LSIS –B27/VC 55 a 60°C por una hora (Mejía, 2012), paso seguido la materia prima se llevó al proceso de molienda en un molino SHINI modelo SG-2348E y por último se determinó su granulometría por medio del proceso de tamizado (Rosa et al., 2009). Se usaron tamices de malla marca HUMBOLDT con norma ASTM E11, los tamices usados fueron los números 16, 20, 30, 40, 50 y 60 que corresponden a un tamaño de abertura de 1,18; 0,85; 0,60; 0,42; 0,30 y 0,25 mm, respectivamente.

### 3.2.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad se determinó de acuerdo con el procedimiento empleado por Mejía (2012), para lo cual se pesaron 2 gramos de fibra con tamaño 0,60 mm, se colocó en una caja Petri previamente tarada y a continuación se trasladó a la estufa a 105°C por 3 horas; una vez que la muestra estuvo seca, se llevó a un desecador y posteriormente se pesó hasta que la fibra seca presentó un valor constante. Se realizaron 6 repeticiones.

El contenido de humedad se determinó mediante la ecuación 1:

$$\%H = \left( \frac{M_o - M_f}{M_o} \right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

% H: Contenido de humedad (%)

Mo: Masa de fibra inicial (g)

Mf: Masa de fibra final (g)

### 3.2.3. COMPONENTES LIGNOCELULÓSICOS DE LA FIBRA

Previo a la realización de los ensayos de celulosa y lignina se extrajo las ceras, grasas y aceites de acuerdo a la norma ASTM D1107 – 96 (ASTM, 2013), se tomó 9 gramos de fibra, se secó 4 horas a 80°C y 2 horas a 105°C y se colocó el material dentro del extractor Soxhlet con 500 ml de solución tolueno-etanol relación 1:2.3 durante 6 horas. Posteriormente, se lavó la muestra con 200 ml de etanol y finalmente se secó la fibra a temperatura ambiente durante 12 horas. El ensayo se realizó por duplicado.

Los porcentajes de lignina y celulosa de las muestras se reportaron como porcentaje en peso seco. Para determinar la masa de fibra seca se usó el contenido de humedad previamente obtenido y se empleó la ecuación 2:

$$M_{os} = M_o * (100 - \%H) \quad (2)$$

Donde:

Mos: Masa de fibra inicial seca (g)

Mo: Masa de fibra inicial (g)

% H: Contenido de humedad (%)

#### 3.2.3.1. CELULOSA

La metodología empleada para la determinación de celulosa fue con base en la norma TAPPI T –17–m-55 (TAPPI, 1946), que consiste en los siguientes pasos:

1. Se pesó 2 gramos de fibra sin ceras, grasas ni aceites en un erlenmeyer.
2. Se colocaron 50 ml de hipoclorito de sodio (10%) y se dejó en agitación durante 8 horas a temperatura ambiente.
3. Se filtró la muestra en un crisol de filtración previamente tarado
4. Se lavó con 50 ml de agua destilada.
5. Se lavó con 50 ml de bióxido de azufre al 3%, es importante mencionar que la solución se debe preparar antes de hacer en ensayo.

6. Se lavó con 50 ml de agua destilada.
7. Se lavó con 50 ml de sulfito de sodio al 2%.
8. Se transfirió a un vaso de precipitación de 250 ml y se colocó 115 ml de sulfito de sodio al 2% para introducir en el baño termostático por 30 minutos.
9. Se filtró la solución en el mismo crisol y se lavó con 250 ml de agua destilada.
10. Se secó a 105°C por 3 horas.
11. Se pesó la muestra luego de dejarla enfriar en el desecador.
12. Se determinó el contenido de celulosa por gravimetría.

Para el cálculo del contenido de celulosa se usó la ecuación 3:

$$\%Celulosa = \left( \frac{M_{mf} * 100}{M_{os}} \right) \quad (3)$$

Donde:

Mmf: Masa de muestra final (g)

Mos: Masa de fibra inicial seca (g)

### **3.2.3.2. LIGNINA**

Para la determinación del contenido de lignina de la fibra del raquis se usó la norma ASTM D1106-96 (ASTM, 2015). El procedimiento llevado a cabo fue el siguiente:

1. Se pesó 1 gramo de fibra tratada y se colocó en un erlenmeyer.
2. Se adicionó 15 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (72%), manteniendo en agitación durante 2 horas a temperatura de 18-20°C.
3. Se transfirió la solución a un balón de 1000 ml y se añadió 560 ml de agua destilada para alcanzar una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3%), se mantuvo en ebullición con reflujo por 4 horas.
4. Se retiró el balón, se dejó enfriar y sedimentar.
5. Se filtró la solución en un crisol de filtración previamente tarado.

6. Se lavó con 500 ml de agua destilada caliente en el mismo crisol.
7. Se colocó el crisol en la estufa a 105 °C durante 3 horas.
8. Se pesó la muestra luego de dejarla enfriar en el desecador.
9. Se determinó el contenido de lignina por gravimetría.

La cantidad de lignina se calculó mediante la ecuación 4:

$$\%Lignina = \left( \frac{M_{mf} * 100}{M_{os}} \right) \quad (4)$$

Donde:

Mmf: Masa de muestra final (g)

Mos: Masa de fibra inicial seca (g)

### **3.3. ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO**

#### **3.3.1. OBTENCIÓN DEL ADHESIVO**

La metodología que se llevó a cabo para la obtención del adhesivo está de acuerdo a lo desarrollado en el proyecto PIJ 16-11 “Desarrollo de adhesivos y encolantes a partir de almidón modificado con úrea” de la Escuela Politécnica Nacional que consiste en:

1. Se agitó durante 3 minutos a 200 rpm en un vaso de precipitación (agitador hélice) 34.5 g de agua, 10 g de glicerol, 5 g de etanol y 0,50 g de aceite mineral.
2. A la anterior mezcla se agregó 5 g de PVA en continua agitación durante 5 minutos.
3. Posteriormente, se llevó dicha solución a un baño térmico con una temperatura de 85°C con una agitación de 75 rpm por 30 minutos.
4. Luego, se agregó 35 g de agua, 0,25 g de benzoato de sodio con 5 g de almidón de oca modificado químicamente.
5. Finalmente, se agitó durante 10 minutos.

### **3.3.2. FORMULACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO**

Para la elaboración del material compuesto se realizaron tres repeticiones por cada formulación empleando el método propuesto por Mejía (2012), que consta de los siguientes pasos:

1. Se humedeció la fibra de los tamices 30 y 40, de acuerdo a las proporciones establecidas de 10, 20, 30 y 40 % en una solución de PVA y almidón de oca.
2. Se dejó secar el material a temperatura ambiente por 24 horas.
3. Se realizó la compresión térmica en la prensa hidráulica LAB TECH modelo LP-S-50 a una presión de 9 bar por 10 minutos a temperaturas de 60, 80 y 100°C.

### **3.4. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL OBTENIDO**

#### **3.4.1. ENSAYO DE TRACCIÓN**

Para evaluar las propiedades del material obtenido se realizó una caracterización mecánica básica que consistió en el ensayo de tracción de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D638 (ASTM, 2014), que consiste en los siguientes pasos:

1. Se midió el ancho y el espesor de cada muestra al 0,025 mm (0,001 pulg) para lo cual se utilizó los métodos de prueba aplicables en la norma ASTM D5947 (ASTM, 2010).
2. Se fijó la velocidad de la prueba a 5 mm/min.

El comportamiento mecánico de las muestras ensayadas se evaluó en términos del módulo, resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. LÍNEA BASE

De acuerdo a los apartados 2.1.1 y 2.1.2 del presente trabajo, la extracción de aceite de palma es una actividad predominante en la zona de Santo Domingo - La Concordia, es por ello que se seleccionó dicha área como zona de estudio. El análisis de la generación de residuos se basó en revisión bibliográfica, dos visitas de campo y encuestas a empresas (Anexo 1) que permitieron el acceso a la información. La ubicación de las principales industrias extractoras del sector se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7. Empresas encuestadas**

<b>Empresa</b>	<b>Dirección</b>
PEXA Planta Extractora Agrícola la Unión S.A.	Vía a Quinindé, Santo Domingo de los Colorados
Extractora Río Manso Exa S.A- Sede Monterrey	Sector Monterrey, La Concordia
Extractora Río Manso Exa S.A- Sede Tysaisa	Km 51 Santo Domingo - Quinindé, La Concordia
Ecuital	Zarumeña s/n Santo Domingo – Chiguilpe
Planta Extractora de Palma Africana Teobroma	Km 34 Santo Domingo - Quinindé, La Concordia
Palmeras de los Andes, sede Santo Domingo	Vía a Quinindé Km 200, Santo Domingo
Siexpal S.A.	Via Colorados del Bua, Santo Domingo de los Tsachilas
La Joya Extra Joya CIA. Ltda	La Villegas km 2 1/2 via Plan Piloto, La Concordia

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Dentro de estas empresas se encontró que se producen diversos residuos tanto líquidos como sólidos, los mismos se presentan en la Tabla 8 junto con sus cantidades aproximadas y disposiciones finales.

**Tabla 8. Resultados de las encuestas**

<b>Residuo</b>	<b>Cantidad de residuo (kg/año)</b>	<b>Disposición final</b>
Raquis	156000	Abono, relleno sanitario
Raquis prensado	394000	Abono, relleno sanitario
Cuesco	107000	Combustible, Recubrimiento suelo, relleno sanitario
Fibra	342000	Combustible, relleno sanitario
Lodos	90000	Abono para plantación, relleno sanitario
Agua Residual	770000 m <sup>3</sup> /año	Lagunas de estabilización

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Gracias a las encuestas realizadas en la zona de estudio establecida, se evidenció una concordancia con la información expuesta en el capítulo 2.1 del presente trabajo respecto a la generación de residuos. Como primera observación, se puede señalar que a pesar de que se considera un área de estudio reducida, la cantidad de desechos sólidos obtenidos representa aproximadamente un 16% del total a nivel nacional expuesto anteriormente en el literal 1.5, lo que permite evidenciar que en el cantón de la Concordia en la provincia de Santo Domingo se han establecido un gran número de empresas extractoras de aceite de palma (Lasso, 2018) (INEC & ESPAC, 2019). En segundo lugar, cabe mencionar que el residuo de mayor generación es el raquis, del cual únicamente el 30% es destinado a abono y el porcentaje restante termina en rellenos sanitarios (López, 2014) (Instituto Nacional de Preinversión, 2014) (Van Dam, 2016) (Minambiente & Fedepalma, 2002) (Ramírez et al., 2011).

## **4.2. CARACTERIZACIÓN INICIAL**

### **4.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD**

En la Tabla 9 se muestra el promedio y la desviación estándar de la caracterización de las fibras de raquis de palma en cuanto al contenido de humedad.

**Tabla 9. Contenido de humedad**

Contenido de humedad	
Promedio (%)	7,03
Desviación	0,15

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Con fines comparativos, la Tabla 10 presenta datos de investigaciones similares respecto a contenido de humedad de fibras de palma africana. A partir de esta información se evidenció que esta propiedad se encuentra dentro de los rangos encontrados bibliográficamente, esto sugiere que este parámetro posiblemente no está relacionado directamente con ubicación geográfica.

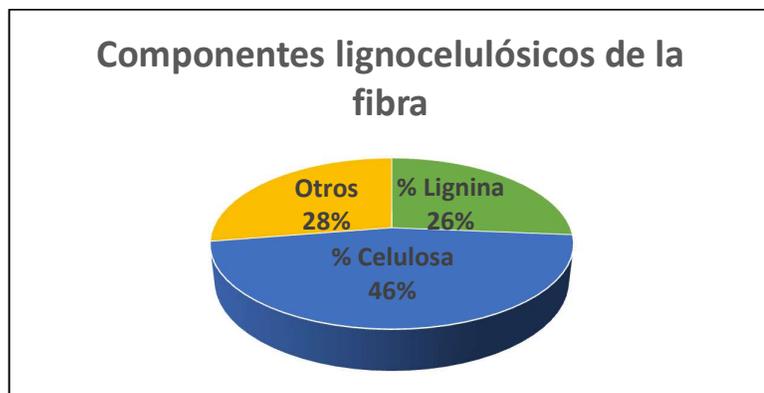
**Tabla 10. Contenidos de humedad de la fibra de tusa**

Propiedades		Anyaocha et al. (2018)	Chang (2014)	Saheb & Jog (1999)
Humedad (%)	7,03	5,10 – 8,30	2,40 - 14,20	5,00 – 10,00

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

#### 4.2.2. COMPONENTES LIGNOSELULÓSICOS DE LA FIBRA

En el Gráfico 2, se observan los valores resultantes de la caracterización química de la materia prima en términos de contenido de lignina y celulosa.

**Gráfico 2. Componentes lignocelulósicos**

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Los resultados ratifican que los principales componentes de la fibra son la lignina y la celulosa, siendo este último el de mayor presencia dentro de la misma. Adicionalmente, los resultados reportados en otras investigaciones establecen que los valores obtenidos experimentalmente se encuentran dentro de los rangos para este tipo de material. La información detallada se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11. Contenidos de lignina y celulosa de la fibra del raquis**

Propiedades		Anyaoaha (2018)	Loboguerrero (2007)	Chang (2014)	Sarjadi (2018)
<b>Lignina (%)</b>	26,30	7,80 – 30,50	21,70 - 25,30	14,10 - 30,50	20,40
<b>Celulosa (%)</b>	46,10	13,80 – 59,70	44,30 - 48,21	23,70 – 65,00	44,20

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

De acuerdo a la revisión bibliográfica, las celulosas en conjunto con la lignina tienen un efecto de refuerzo (mejora de propiedades mecánicas). Es por ello, que son considerados como un material óptimo para conformar la fase dispersa de materiales compuestos. (Sarjadi et al., 2018)(Sreekala, Kumaran, & Thomas, 1997) (Thakur & Thakur, 2014)

### **4.3. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL**

Previo al análisis y discusión de resultados del comportamiento mecánico, a continuación, se presenta el Gráfico 3 con los procesos que se llevaron a cabo para la elaboración del material de los cuales se obtuvieron en total 48 láminas que se presentan en el Anexo 4.

### Gráfico 3. Elaboración del material



Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Para la caracterización mecánica del material únicamente se pudieron analizar las formulaciones con contenido de fibra de 10 y 20 % (Gráfico 4a y 4b) debido a que aquellas del 30 y 40 % (Gráfico 4c y 4d) presentaron alta fragilidad, que se pudo evidenciar por la falta de una adecuada adhesión entre la fase dispersa y continua del composite. De acuerdo con la bibliografía consultada, este comportamiento se debe a que a mayor cantidad de fibra no existe una efectiva interacción con la matriz; es decir, al tener un elevado porcentaje de refuerzo se aumenta la probabilidad de que se formen aglomeraciones y por tanto no se mezclen correctamente todos los componentes del material ocasionando que la lámina se rompa con facilidad (AL- Oqla & Salit, 2017).

#### Gráfico 4. Láminas

a. Lámina 10 %



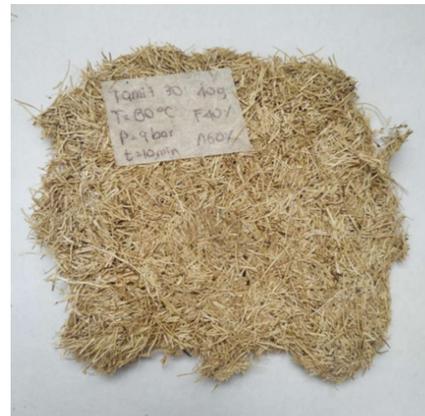
b. Lámina 20 %



c. Lámina 30 %



d. Lámina 40 %



Elaboración: Baquero y Rico, 2019

En cuanto al procesamiento del material no se formó la lámina con la temperatura de 60°C (Gráfica 5), según la información encontrada en estudios con condiciones similares, esto se produjo debido a que en dicha temperatura la matriz no se fundió completamente lo que conlleva una baja interacción entre sus componentes (PVA y almidón modificado de oca) lo que afecta directamente a la formación de la lámina ya que no se pueden establecer interacciones entre la fase dispersa y continua; adicionalmente, se encuentra que a mayor temperatura se presenta una mezcla más eficiente, lo cual se pudo evidenciar en los diferentes composites obtenidos a

80 y 100°C en el presente trabajo especialmente en la propiedad de resistencia a la tracción (Zanela et al., 2016) (Wu, Sun, Huang, Chang, & Xu, 2013).

#### **Gráfico 5. Lámina a 60°C**



Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Adicionalmente, para la interfaz de los materiales compuestos se considera, con base en lo enunciado en el apartado 2.3.1 del presente trabajo, que los principales grupos funcionales son los hidroxilos y los carbonilos que se encuentran tanto en el PVA como en el almidón y la fibra. Además, es importante mencionar que estos componentes tienen un comportamiento polar, el cual en conjunto con los radicales OH y CO podrían establecer puentes de hidrógeno. Este tipo de interacción ocasiona una adhesión entre los elementos constitutivos del material compuesto y por tanto se favorece la compatibilidad entre los mismos. (Lisdayana et al., 2018) (Razzaq & Javaid, 2015) (Lani et al., 2014) (Kumar et al., 2012) (Velazquez, 2015) (Owi et al., 2017)

Teniendo en cuenta lo anterior, únicamente se trabajó con 24 láminas que se encuentran repartidas en 8 formulaciones, identificadas en la Tabla 12. Se realizó la caracterización mecánica por medio del ensayo de tracción que se aprecia en el Gráfico 6; y se generaron los resultados expuestos los Gráficos 7, 8 y 9.

Tabla 12. Identificación de las muestras

Muestra	Temperatura (°C)	Tamaño de Fibra (mm)	Contenido de Fibra (%)
1	80	0,60	10
2	80	0,60	20
3	80	0,42	10
4	80	0,42	20
5	100	0,60	10
6	100	0,60	20
7	100	0,42	10
8	100	0,42	20

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Gráfico 6. Probeta para el ensayo de tracción

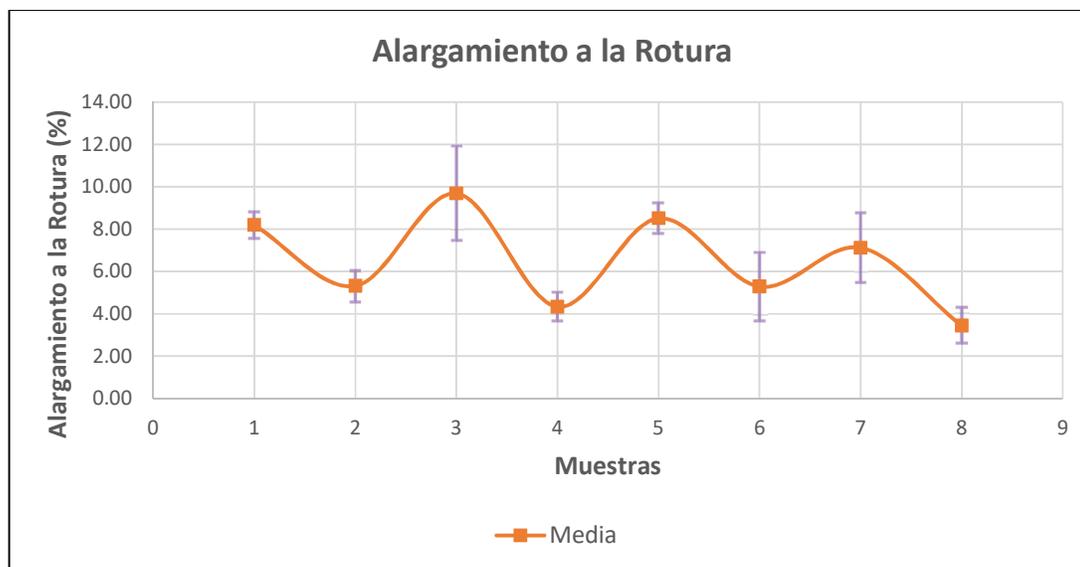
A. Antes del ensayo de tracción



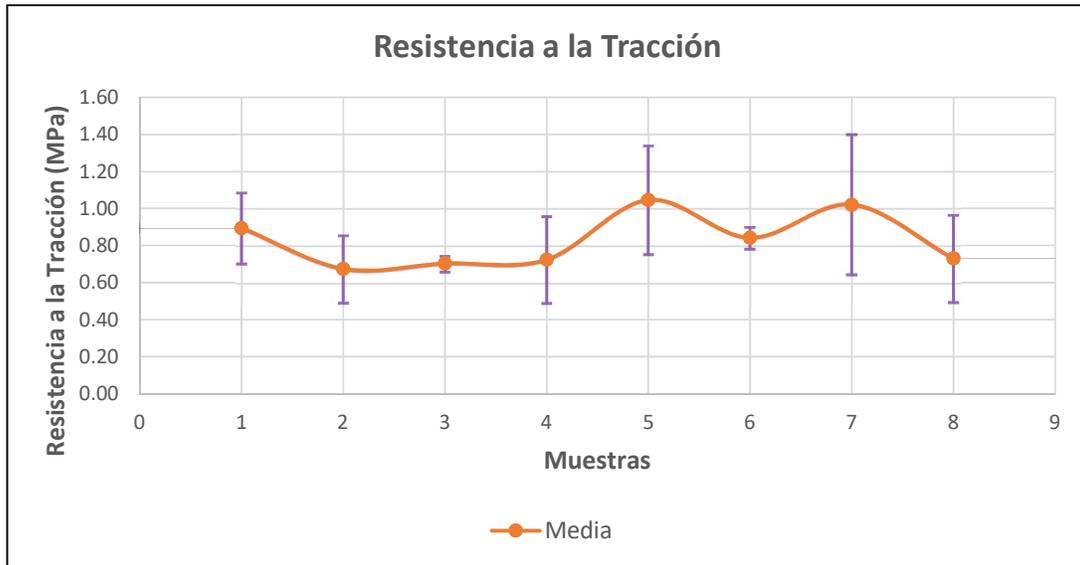
B. Después del ensayo de tracción



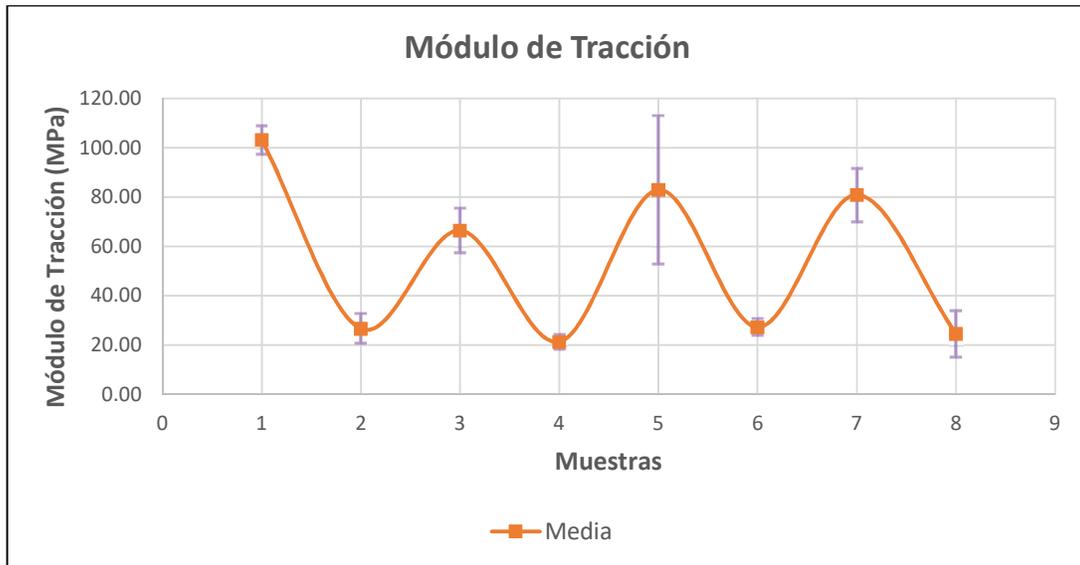
Gráfico 7. Alargamiento a la rotura



Elaboración: Baquero y Rico, 2019

**Gráfico 8. Resistencia de la tracción**

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

**Gráfico 9. Módulo de tracción**

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

Para la interpretación adecuada de los resultados obtenidos se realizaron dos análisis estadísticos (Anexo 5): el primero fue el Z-score que permitió identificar la inexistencia de valores atípicos por lo que se tuvieron en cuenta los 24 datos para conocer el comportamiento mecánico del material de acuerdo con las propiedades

evaluadas. El segundo, ANOVA, que permitió distinguir la influencia de las variables en cada una de las características:

- Con respecto a la resistencia a la tracción ninguno de los factores independientes (temperatura, tamaño de fibra, contenido de fibra) afectan de manera significativa
- En el caso del módulo de tracción y alargamiento a la rotura el contenido de fibra con  $p < 0.05$  demuestra su importancia en estos valores.

Con relación a los resultados presentados en los Gráficos 7, 8 y 9 y al análisis estadístico realizado, se observa que en cuanto a alargamiento a la rotura a mayor cantidad de fibra menor es esta propiedad porque al adicionar el refuerzo se aumenta la rigidez del composite y su comportamiento se vuelve cada vez menos dúctil (Razzaq & Javaid, 2015); con respecto a la resistencia y módulo de tracción se determina que estas características disminuyen a medida que aumenta el contenido de la fase dispersa, este comportamiento se explica debido a que existe un mayor contacto entre fibra y fibra que conlleva a una ineficiente transmisión de cargas (Sarjadi et al., 2018) (Rosa et al., 2009) (Sreekala et al., 1997).

Se realiza una comparación entre los resultados de ensayos de tracción que se obtuvieron en el presente estudio y aquellos que trabajaron tanto como con matrices convencionales (Tabla 13) y matrices biodegradables (Tabla 14) con la finalidad de presentar la influencia que tiene la fase continua en materiales compuestos con el mismo refuerzo. los estudios con matrices convencionales arrojan resultados que superan entre 4 y 16 veces a los obtenidos en la presente investigación; estas diferencias se producen por el tipo de matriz usada en los mismos (polietileno y polipropileno).

**Tabla 13. Resultados ensayos de tracción con matriz convencional**

Propiedades	Noorunnisa (2014)		Tapia (2009)	Presente trabajo
	Sin MA	Con MA		
Resistencia a la tracción (MPa)	20,20	22,00	16,36	0,70 – 1,00
Módulo de tracción (MPa)	620,00	820,00	-	21,40 – 103,10

<b>Alargamiento de rotura (%)</b>	50,00	50,00	-	3,40 – 9,70
-----------------------------------	-------	-------	---	-------------

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

\*MA: Anhídrido Maleico (compatibilizante)

Con respecto a la resistencia de tracción se destaca la similitud de los valores del estudio de Sarjadi (2018), que trabaja con fibra de raquis de palma africana con una matriz de PVA; en el módulo de tracción sobresalen los datos de Chiellini (2004), que desarrolla un material con base en PVA con un refuerzo del bagazo de caña de azúcar y en el caso del alargamiento a la rotura los valores que tienen menor diferencia a los obtenidos en el presente proyecto son los proporcionados por los dos estudios mencionados anteriormente.

**Tabla 14. Resultados ensayos de tracción con biocomposites**

<b>Propiedades</b>	<b>Chiellini (2004)</b>	<b>Sarjadi (2018)</b>	<b>Presente trabajo</b>
<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	8,10	1%F 1,10 3%F 2,00 5%F 1,60	0,70 – 1,00
<b>Módulo de tracción (MPa)</b>	101,30	1%F 0,10 3%F 0,10 5%F 0,10	21,40 – 103,10
<b>Alargamiento de rotura (%)</b>	7,00	1%F 16,80 3%F 8,40 5%F 5,60	3,40 – 9,70

Elaboración: Baquero y Rico, 2019

\*F: Fibra

Además, De modo complementario a las razones por las cuales se obtuvieron datos bajos en comparación con estudios similares, se encuentra que, dentro del procesamiento de material, primero, no se efectuó una extracción de ceras, grasas ni aceites y como segundo punto, no se añadió un compatibilizante. Conforme se reporta en bibliografía especializada en el primer caso, la ausencia de dicho proceso causa una interferencia en la interacción entre los grupos OH provenientes de los componentes del composite; en el segundo caso, los extractivos son elementos hidrofóbicos y tanto el PVA como el almidón y la fibra son hidrofílicos, esta diferencia dificulta la interacción entre los grupos funcionales y

consecuentemente la formación de enlaces puente hidrógeno (Delgado et al., 2013) (Bakar et al., 2006)(AL- Oqla & Salit, 2017).

Además, la cantidad de agua presente en la fibra puede ocasionar afectaciones durante el procesamiento y posterior caracterización mecánica del composite debido principalmente a que puede generar hinchazón provocada por la absorción de humedad y también ocasiona espacios huecos en la interfaz del material compuesto (John & Thomas, 2008) (Saheb & Jog, 1999).

#### **4.3.1. PROPUESTA DE USO DEL MATERIAL COMPUESTO**

Sobre la base de los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación y de aspectos bibliográficos se propone el aprovechamiento del residuo de raquis proveniente de la industria aceitera ecuatoriana en materiales enfocados a la industria agropecuaria debido a que sus componentes principales son biodegradables y que la fibra de raquis ofrece beneficios al suelo (FEDEPALMA, 2013) (Del Hierro, 1993).

Adicionalmente, se proponen posibles formas de uso como el transporte de semillas, embalaje, cultivo y contenedores de plantas ya que se presume que la resistencia mecánica del composite es apta para dichas aplicaciones y no ocasionará un impacto significativo en el ambiente por su fácil degradación reemplazando los contenedores convencionales fabricados a partir de derivados de petróleo como el plástico (Wu et al., 2013) (Silva et al., 2018).

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con los datos obtenidos en las visitas de campo y en encuestas se puede catalogar a la zona de Santo Domingo - la Concordia como una de las más importantes en cuanto a siembra de palma africana y extracción de su aceite, esto conlleva a que exista una elevada generación de residuos tanto sólidos como líquidos que en su gran mayoría son dispuestos sin un tratamiento previo.

El levantamiento de la línea base mostró que el mayor porcentaje de generación de residuos sólidos provenientes de la industria extractora de aceite de palma corresponde al raquis. Además, se evidenció que no existe un adecuado manejo ni un registro actualizado de la cantidad o forma de disposición final de dicho residuo.

En la caracterización físico - química se obtuvieron valores de humedad, lignina y celulosa de 7,03, 26,30 y 46,10 %, respectivamente. Estos valores permitieron establecer que el lugar o condiciones del cultivo de la palma africana no influyen significativamente en dichas propiedades y que los datos encontrados en el presente estudio se encuentran dentro de los rangos de otras investigaciones realizadas con el raquis.

El composite elaborado a 100 °C con un tamaño de fibra de 0,60 mm y contenido de la misma de 10% arrojó valores de 1,05 MPa, 82,87 MPa y 8,53% en cuanto a su RT, MT y AR respectivamente, es por ello que se considera como el mejor material en comparación a las otras formulaciones realizadas en esta investigación.

De acuerdo con los datos obtenidos a partir de los materiales compuestos desarrollados y su correspondiente análisis estadístico se estableció que el factor con mayor influencia dentro de las propiedades mecánicas evaluadas fue el contenido de fibra.

La información generada a partir de la caracterización del composite permitió evidenciar que a mayor temperatura se incrementa la resistencia a la tracción en todas las combinaciones realizadas.

Con respecto al tamaño de fibra se evidenció que aquellas con 0,6 mm reforzaron de mejor manera el composite en comparación de 0,42 mm, a pesar de que entre las variables seleccionadas no existe gran diferencia.

Conforme a la revisión bibliográfica se puede establecer que los factores que afectaron las propiedades de los materiales son la humedad, el contenido residual de aceite, la corta longitud, aglomeración y orientación de las fibras ya que ocasionaron una interferencia en la interfaz del material reduciendo la compatibilidad de los componentes del composite.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda obtener el contenido de extractivos de la fibra de EFB, además, realizar una comparación entre materiales con y sin los mismos para identificar la influencia dentro del comportamiento del composite.

Sería conveniente realizar caracterización complementaria por medio de ensayos como espectroscopia infrarroja, análisis termogravimétrico, calorimetría diferencial de barrido tanto para la matriz como para el refuerzo, para de esta forma evaluar la compatibilidad del material obtenido.

Se aconseja utilizar la fibra y su correspondiente matriz con el menor contenido de humedad posible para evitar que afecte las propiedades mecánicas del material compuesto.

Se recomienda realizar ensayos con una mayor diferencia entre tamaños de fibra, lo cual ayudará a entender de mejor manera el comportamiento del material frente a esta variable.

En lo que respecta a la formulación del composite se sugiere ampliar el rango de temperaturas (mayores a 100°C) y contenido de fibra (menores a 20 %) para ampliar la comparación y profundizar el estudio del comportamiento del material.

Con la finalidad de establecer la duración que puede tener el material en determinadas condiciones se sugiere realizar ensayo de biodegradabilidad como simulación en relleno sanitario en condiciones anaerobias y aerobias, comportamiento en el suelo y vermicomposteo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, N., & Gerhauser, H. (2008). Bio-oil derived from empty fruit bunches. *Fuel*, 87(12), 2606-2613.
- Aguinaga, D. (2015). *Análisis de la cadena productiva palma africana – aceite – biodiesel , para la comercialización progresiva de eco diésel en el país*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- AL- Oqla, F., & Salit, M. (2017). Natural Fiber Composites. En W. Publishing (Ed.), *Materials Selection for Natural Fiber Composites* (pp. 23-48).
- Alvarez, J., & Nicolalde, J. (2018). *Impacto y potencialidades en la exportación de productos derivados de la palma con valor agregado del Ecuador en el periodo 2010-2017*. Universidad Central del Ecuador.
- ANCUPA. (2017a). Aniversario de ANCUPA. *Palma la voz del palmicultor*.
- ANCUPA. (2017b). Impuesto único para el sector Palmicultor. Recuperado de <http://www.ancupa.com/2018/01/04/impuesto-unico-sector-palmicultor/>
- Anyaocha, K. E., Sakrabani, R., Patchigolla, K., & Mouazen, A. M. (2018). Critical evaluation of oil palm fresh fruit bunch solid wastes as soil amendments: Prospects and challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 136(April), 399-409.
- Askeland, D., & Wright, W. (1998). *Ciencia e ingeniería de materiales* (Vol. 3; I. T. Editores, Ed.). México.
- ASTM. (2010). D5947 - 18 Standard Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens. *American Society for Testing and Materials*, 1-10.
- ASTM. (2013). D1107-96 Standart Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood. *American Society for Testing and Materials*, 96(Reapproved 2013), 1-2.
- ASTM. (2014). D638 – 14 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. *American Society for Testing and Materials*, 17.
- ASTM. (2015). D1106-96 Acid-Insoluble Lignin in Wood. *American Society for*

*Testing and Materials*, 96(Reapproved 2007), 83-84.

Bakar, A. A., Hassan, A., & Mohd Yusof, A. F. (2006). The effect of oil extraction of the oil palm empty fruit bunch on the processability, impact, and flexural properties of PVC-U composites. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 55(9), 627-641.

Banco Central del Ecuador. (2016). Consulta de totales por NANDINA (toneladas y miles de dólares). Recuperado 1 de septiembre de 2019, de <https://www.bce.fin.ec/comercioExterior/comercio/consultaTotXNandinaConGrafic%0Ao.jsp>

Bensadoun, F., Vanderfeesten, B., Verpoest, I., Van Vuure, A. W., & Van Acker, K. (2016). Environmental impact assessment of end of life options for flax-MAPP composites. *Industrial Crops and Products*, 94, 327-341.

Besednjak, A. (2009). *Los materiales compuestos* (U. P. de Catalunya, Ed.).

Borja, S., Valle, V., & Molina, P. (2020). Adhesive Based upon Polyvinyl Alcohol And Chemical Modified Oca ( Oxalis tuberosa ) Starch. *International Conference on Polymeric Materials Science and Engineering Applications*, 14(4), 2020. Athens, Greece.

Calderón, M., Andrade, F., Lizarzaburu, L., & Masache, M. (2017). Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador. *Estudios del cambio climático en América Latina*.

Callister, W., Rethwiesch, D., Molera, P., & Ballesteros, N. (2016). *Ciencia e ingeniería de materiales* (Reverté, Ed.).

Chang, S. H. (2014). An overview of empty fruit bunch from oil palm as feedstock for bio-oil production. *Biomass and Bioenergy*, 62, 174-181.

Chiellini, E., Cinelli, P., Chiellini, F., & Imam, S. H. (2004). Environmentally degradable bio-based polymeric blends and composites. *Macromolecular Bioscience*, 4(3), 218-231.

Choo, Y. M., Muhamad, H., Hashim, Z., Subramaniam, V., Pua, C. W., & Tan, Y.

- (2011). Determination of GHG contributions by subsystems in the oil palm supply chain using the LCA approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(7), 669-681.
- Colchester, M. (2011). *Palm oil and indigenous peoples in South East Asia*. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=rVIWqAkyI0kC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=rVIWqAkyI0kC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Collahuazo, A. (2015). *Efecto de la producción de palma aceitera y la elaboración de aceite de palma en Esmeraldas*. Pontificia Universidad Católica.
- CORMACARENA. (2012). *Guía ambiental para el manejo y aprovechamiento del raquis en el cultivo de palma de aceite en el departamento del Meta* (Vol. 66). Villavicencio, Colombia.
- Danielsen, F., Beukema, H., Burgess, N. D., Parish, F., Brühl, C. A., Donald, P. F., ... Fitzherbert, E. B. (2009). Plantaciones de biocombustible en terrenos boscosos: Doble peligro para la biodiversidad y el clima. *Conservation Biology*, 23(2), 348-358. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01096.x>
- Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). *Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales*.
- Del Hierro, E. (1993). Aprovechamiento de los subproductos de palma de aceite. *Revista Palmas*, 14(10), 149-153.
- Delgado, M., Espinach, F., Julián, F., Pelach, M., Méndez, J., Vilaseca, F., & Mujté, P. (2013). Desarrollo de materiales compuestos, completamente biodegradables, a partir de almidón termoplástico y fibras semi químicas de esparto. *13 Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales*.
- Deng, Y., Paraskevas, D., Tian, Y., Van Acker, K., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2016). Life cycle assessment of flax-fibre reinforced epoxidized linseed oil composite with a flame retardant for electronic applications. *Journal of Cleaner*

*Production*, 133, 427-438.

- Duflou, J. R., De Moor, J., Verpoest, I., & Dewulf, W. (2009). Environmental impact analysis of composite use in car manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58(1), 9-12.
- Edwards, D. P., Hodgson, J. A., Hamer, K. C., Mitchell, S. L., Ahmad, A. H., Cornell, S. J., & Wilcove, D. S. (2010). Wildlife-friendly oil palm plantations fail to protect biodiversity effectively. *Conservation Letters*, 3(4), 236-242.
- El Telegrafo. (2019). Ministerio de Agricultura y BanEcuador estudian nuevos créditos especializados. Recuperado 27 de agosto de 2019, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/ministerio-agricultura-banecuador-creditos>
- Elbersen, W. (2013). *para la bioeconomía , junto con el Making Palm Oil Residues Available for the Biobased Economy while Recycling Nutrients*. 34, 56-65.
- Enríquez, M., Velasco, R., & Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182-192.
- Estupiñan, D., & Prada, A. (2018). *Determinación del contenido de aceite en muestras sólidas mediante espectroscopia de infrarrojo como alternativa para la medición de pérdidas en el proceso de extracción de aceite de pal*. Universidad Industrial de Santander.
- FEDEPALMA. (2013). *La experiencia de Malasia en el aprovechamiento de la biomasa de palma de aceite*. 1-23.
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite., M. S., & Centro de Investigación en Palma de Aceite. (1995). Utilización de los racimos vacíos de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 16(especial), 114-120.
- Ferdosian, F., Pan, Z., Gao, G., & Zhao, B. (2017). Bio-based adhesives and evaluation for wood composites application. *Polymers*, 9(2).
- Fitzherbert, E. B., Struebig, M. J., Morel, A., Danielsen, F., Brühl, C. A., Donald, P.

- F., & Phalan, B. (2008). How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends in Ecology and Evolution*, 23(10), 538-545.
- Gaaz, T. S., Sulong, A. B., Akhtar, M. N., Kadhum, A. A. H., Mohamad, A. B., Al-Amiery, A. A., & McPhee, D. J. (2015). Properties and applications of polyvinyl alcohol, halloysite nanotubes and their nanocomposites. *Molecules*, 20(12), 22833-22847.
- Gadhawe, R., Mahanwar, P. A., & Gadekar, P. T. (2017). Starch-Based Adhesives for Wood/Wood Composite Bonding: Review. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 07(02), 19-32.
- García, E. (2013). *La palma aceitera en el Meta y el calentamiento global*.
- Goldstein, M. C., & Goodwin, D. S. (2013). Gooseneck barnacles (*Lepas* spp.) ingest microplastic debris in the north Pacific subtropical gyre. *PeerJ*, 1-17.
- GRAIN. (2013). *Planet palm oil* (Vol. 53).
- Hemmilä, V., Trischler, J., & Sandberg, D. (2013). Bio-Based Adhesives for the Wood Industry – an Opportunity for the Future? *Pro Ligno*, 9(4), 118-125.
- Hernández, M., & Vergara, A. (2008). *Elaboración y evaluación de un adhesivo a partir del almidón de yuca nativo, (Manihot sculenta crantz), variedad M- TAI, utilizando hidróxido de sodio como agente hidrolizante*. Universidad de Sucre.
- Hernández, T., & Beltrán, C. (2010). *Factibilidad para la creación de una planta extractora de aceite de palma en el municipio de Sabana de Torres- Santander*. Universidad Industrial de Santander.
- Hoffmann, J., Scherhorn, G., & Busch, T. (2004). *Darmstadt Definition of Sustainable Investments*. Wuppertal: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy.
- Holguín, A. (2018). *Las exportaciones de aceite de palma y su contribución al PIB agrícola de la economía ecuatoriana durante el período 2010-2016*. Universidad de Guayaquil.

- Ibrahim, H., Farag, M., Megahed, H., & Mehanny, S. (2014). Characteristics of starch-based biodegradable composites reinforced with date palm and flax fibers. *Carbohydrate Polymers*, *101*(1), 11-19.
- Imam, S., Gordon, S., Chen, L., & Mao, L. (2001). Environmentally friendly wood adhesive from a renewable plant polymer: characteristics and optimization. Syed. *Polymer degradation and stability*, *73*(3), 529-533.
- Imam, S. H., Cinelli, P., Gordon, S. H., & Chiellini, E. (2005). Characterization of biodegradable composite films prepared from blends of poly(vinyl alcohol), cornstarch, and lignocellulosic fiber. *Journal of Polymers and the Environment*, *13*(1), 47-55.
- Index Mundi. (2019). Palm Oil Production Annual Growth Rate by Country. Recuperado 7 de octubre de 2019, de <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=palm-oil&graph=production-growth-rate>
- INEC. (2014). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2014. *Ecuador en cifras*, 1-64.
- INEC, & ESPAC. (2019). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2018. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*, 23.
- Instituto Nacional de Preinversión. (2014). ATLAS Bioenergético del Ecuador. *Atlas bioenergético del Ecuador, Primera Ed*, 1-150.
- Isaac-Márquez, R., Valladares, J. L. S., Spencer, A. E., Arcipreste, M. E. A., Aguilar, M. A. A., Márquez, A. P. I., & González, M. C. S. (2016). Impactos Sociales y Ambientales de la Palma de Aceite: Perspectiva de los Campesinos en Campeche, México. *Journal of Latin American Geography*, *15*(2), 123-146.
- Ismail, H., & Zaaba, N. F. (2011). Effect of Additives on Properties of Polyvinyl Alcohol (PVA)/Tapioca Starch Biodegradable Films. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, *50*(12), 1214-1219.
- Isroi, Cifriadi, A., Panji, T., Wibowo, N. A., & Syamsu, K. (2017). Bioplastic

- production from cellulose of oil palm empty fruit bunch. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 65(1).
- Isroi, Ishola, M. M., Millati, R., Syamsiah, S., Cahyanto, M. N., Niklasson, C., & Taherzadeh, M. J. (2012). Structural changes of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) after fungal and phosphoric acid pretreatment. *Molecules*, 17(12), 14995-15012.
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., ... Law, K. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768-771.
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 71(3), 343-364.
- Kakou, C. A., Arrakhiz, F. Z., Trokourey, A., Bouhfid, R., Qaiss, A., & Rodrigue, D. (2014). Influence of coupling agent content on the properties of high density polyethylene composites reinforced with oil palm fibers. *Materials and Design*, 63, 641-649.
- Khalil, H. P. S. A., Ismail, H., Rozman, H. D., & Ahmad, M. N. (2001). Effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal*, 37(5), 1037-1045.
- Koh, L. P., & Wilcove, D. S. (2008). Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Conservation Letters*, 1(2), 60-64.
- Kumar, A., Negi, Y. S., Bhardwaj, N. K., & Choudhary, V. (2012). Synthesis and characterization of methylcellulose/PVA based porous composite. *Carbohydrate Polymers*, 88(4), 1364-1372.
- Lani, N. S., Ngadi, N., Johari, A., & Jusoh, M. (2014). Isolation, characterization, and application of nanocellulose from oil palm empty fruit bunch fiber as nanocomposites. *Journal of Nanomaterials*, 2014.
- Lasso, G. (2018). La palma aceitera en el Ecuador: ¿Un cultivo social y sustentable? Recuperado 26 de agosto de 2019, de

[https://lalineadefuego.info/2018/07/10/la-palma-aceitera-en-el-ecuador-un-cultivo-social-y-sustentable-por-geovanna-lasso/#\\_ftn3](https://lalineadefuego.info/2018/07/10/la-palma-aceitera-en-el-ecuador-un-cultivo-social-y-sustentable-por-geovanna-lasso/#_ftn3)

- Le Troedec, M., Sedan, D., Peyratout, C., Bonnet, J. P., Smith, A., Guinebretiere, R., ... Krausz, P. (2008). Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(3), 514-522.
- Lisdayana, N., Fahma, F., Sunarti, T. C., & Iriani, E. S. (2018). Thermoplastic Starch–PVA Nanocomposite Films Reinforced with Nanocellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFBs): Effect of Starch Type. *Journal of Natural Fibers*, 00(00), 1-12.
- Loboguerrero, C. (2007). *Exploración de la factibilidad del aprovechamiento de los residuos de la palma de aceite para convertirlos en azúcares fermentables. Proyecto de grado. Bogotá: Universidad de los Andes. Universidad de los Andes.*
- López, C. (2014). *Diseño de un proceso para elaborar papel a partir de residuo fibroso, producido en la extractora de aceite La Joya Extra Joya CIA. LTDA., La Concordia, año 2013-2014.* Universidad Internacional SEK.
- Luo, X., Li, J., & Lin, X. (2012). Effect of gelatinization and additives on morphology and thermal behavior of corn starch/PVA blend films. *Carbohydrate Polymers*, 90(4), 1595-1600.
- MAE. (2013). *Estudio de potenciales impactos ambientales y vulnerabilidad.* 1-63.
- Mallick, P. (2007). *Fiber- reinforced composites* (C. PRESS, Ed.).
- Mansor, M. R., Mastura, M. T., Sapuan, S. M., & Zainudin, A. Z. (2019). The environmental impact of natural fiber composites through life cycle assessment analysis. *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, 257-285.
- Martín, S. (2017). *Adhesivos Tack- melt atóxicos para su empleo en tratamientos restaurativos de pintura sobre tela: tipificación y análisis.* Universidad nacional

de educación a distancia.

- Mejía, M. (2012). *Elaboración de tableros aglomerados auto- adheridos a partir de fibra de raquis de palma africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Escuela Politécnica Nacional.
- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, (8), 57-67.
- Menzel, C., Seisenbaeva, G., Agback, P., Gällstedt, M., Boldizar, A., & Koch, K. (2017). Wheat starch carbamate: Production, molecular characterization, and film forming properties. *Carbohydrate Polymers*, 172, 365-373.
- Meré, J. (2009). *Estudios del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente*. Universidad Carlos III de Madrid.
- Minambiente, & Fedepalma. (2002). *Guía ambiental para el subsector Palma de Aceite.pdf* (pp. 27-136). pp. 27-136.
- Mingorance, F., & Minelli, FlaminiaLe Du, H. (2018). El cultivo de la palma aceitera africana en el Chocó. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 0(72).
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). *Informe sobre el sector palmicultor ecuatoriano*. 82.
- Miranda H., Schuchardt F., Wulfert K., T. D. (2007). Manejo Sostenible de Efluentes y Tusas. *Palmas*, 28, 191-198.
- Moral, A., & Nogueira, M. (2007). *Materiales de última generación y materiales eficientes: Materiales Compuestos - Composites* (U. de Granada, Ed.).
- Morsyleide, R., Bor-sen, C., Medeiros, E. S., Wood, D. F., Mattoso, L. H. C., Orts, W. J., & Imam, S. H. (2009). Biodegradable Composites Based on Starch/EVOH/Glycerol Blends and Coconut Fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 111(2), 612-618.
- Mosquera, P. (2016). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización*

*de abono agrícola en base al compost de la palma africana.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Mulinari, D. R., Marina, A. J. F., Lopes, G. S., & Materials, A. (2015). *Mechanical Properties of the Palm Fibers Reinforced HDPE Composites.* 9(7), 891-894.

Nacos, M. K., Katapodis, P., Pappas, C., Daferera, D., Tarantilis, P. A., Christakopoulos, P., & Polissiou, M. (2006). Kenaf xylan - A source of biologically active acidic oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 66(1), 126-134.

Neelam, K., Vijay, S., & Lalit, S. (2012). VARIOUS TECHNIQUES FOR THE MODIFICATION OF STARCH AND THE APPLICATIONS OF ITS DERIVATIVES. *International Research Journal of Pharmacy*, 3(5), 25-31.

Noorunnisa, P., & AlMaadeed, M. A. (2014). Improvement of ternary recycled polymer blend reinforced with date palm fibre. *Materials and Design*, 60, 532-539.

Núñez, C., Ulloa, A., Gil, J., Montalvo, A., & Vargas, F. (2012). Estudio preliminar del potencial energético de cuesco de palma y cáscara de coco en Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 8(14), 19-25.

ONU. (2018). *EL ESTADO DE LOS PLÁSTICOS Perspectiva del día mundial del medio ambiente 2018.* 20.

Owi, W. T., Lin, O. H., Sam, S. T., Villagrancia, A. R., & Santos, G. N. C. (2017). Tapioca starch based green nanocomposites with environmental friendly cross-linker. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 463-468.

Packham, D. E. (2009). Adhesive technology and sustainability. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(3), 248-252.

Páliz, D. C. (2015). *Factibilidad del uso del Raquis de Palma Africana en mezcla con agregados de construcción para la fabricación de ladrillos ecológicos.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Pardo, L. E., Laurance, W. F., Clements, G. R., & Edwards, W. (2015). The impacts

- of oil palm agriculture on Colombia's biodiversity: What we know and still need to know. *Tropical Conservation Science*, 8(3), 828-845.
- Pilla, I. A. (2017). *Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (Oxalis tuberosa) y plastificantes*. Escuela politécnica nacional.
- Pineda, D. M., & Durán, J. E. (2019). Evaluation of oil palm empty fruit bunch wastes as adsorbent for the removal of reactive dyes from aqueous solutions. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(1), 1-9.
- Pizzi, A., & Mittal, K. (2017). *Handbook of Adhesive Technology*. CRC PRESS.
- Posso, E. R. R., & Durán Altisent, J. M. (2009). *Cultivos energéticos alternativos*.
- Potter, L. (2010). La industria del aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores? *Eutopía - Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 39-54.
- Priya, B., Gupta, V. K., Pathania, D., & Singha, A. S. (2014). Synthesis, characterization and antibacterial activity of biodegradable starch/PVA composite films reinforced with cellulosic fibre. *Carbohydrate Polymers*, 109, 171-179.
- Quesada, G. (2005). Tecnología de palma aceitera. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*, 42.
- Quevedo, V. (2015). *Adherencia y adhesivos para madera*.
- Ramaraj, B. (2007). Crosslinked Poly(vinyl alcohol) and Starch Composite Films. II. Physicomechanical, Thermal Properties and Swelling Studies. *Journal of Applied Polymer Science*, 103(2), 909-916.
- Ramírez, N., Silva, Á., Garzón, E., & Yáñez, E. (2011). Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite. *Boletín Técnico No. 30*, (30), 1-46.
- Razzaq, W., & Javaid, A. (2015). Synthesis & Characterization of cotton fiber reinforced starch/PVA biodegradable composite films. *Journal of Faculty of*

*Engineering & Technology*, 22(1), 27-35.

- Refort, M., & Keil, G. (2012). Importancia y determinación de las propiedades mecánicas de la madera. *Contacto rural*, 1, 4-5.
- Reijnders, L., & Huijbregts, M. A. J. (2008). Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of Cleaner Production*, 16(4), 477-482.
- Reyes, L., & Rodríguez, A. (2017). *Monografía de estudio sobre los impactos ambientales que generan el cultivo y producción de palama de aceite africana (Elaeis Guineensis jacq.) en el departamento del Meta*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD.
- Riera, M., & Palma, R. R. (2019). Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en Química*, 13(3), 69-78.
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3.
- Rosa, M. F., Chiou, B. sen, Medeiros, E. S., Wood, D. F., Williams, T. G., Mattoso, L. H. C., ... Imam, S. H. (2009). Effect of fiber treatments on tensile and thermal properties of starch/ethylene vinyl alcohol copolymers/coir biocomposites. *Bioresource Technology*, 100(21), 5196-5202.
- Rozman, H. D., Saad, M. J., & Mohd Ishak, Z. A. (2002). Modification of oil palm empty fruit bunches with maleic anhydride: The effect on the tensile and dimensional stability properties of empty fruit bunch/polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 87(5), 827-835.
- Sabu, T., Mathew, S., Anne, G., & Yang, W. (2012). *Natural polymers, biopolymers, biomaterials, and their composites, blends and IPNs* (CRC PRESS, Ed.).
- Saheb, N. D., & Jog, J. P. (1999). *Natural fiber polymer composites: A review*. 18(4), 351-363.
- Salas, P. (2009). *Estudio de la factibilidad comercial y económica de un proyecto agrícola para la producción y comercialización de palma africana*. Universidad

de las Fuerzas Armadas.

- Samson, O. (2010). Aceite de palma bueno, aceite de palma malo. Recuperado 17 de octubre de 2019, de <https://www.dw.com/es/aceite-de-palma-bueno-aceite-de-palma-malo/a-5043179>
- Sangucho, W., & Rodriguez, A. (2018). *Evaluación De La Viabilidad Del Uso Del Raquis Como Lecho Filtrante Para El Tratamiento De Agua Residual Proveniente De La Extracción De Aceite De Palma*. Escuela Politécnica Nacional.
- Sarjadi, M. S., Aziz, S. A., & Rahman, M. L. (2018). Effect of seawater treatment on the mechanical properties of oil palm empty fruit bunch fibre/Poly(vinyl alcohol) composites. *ASM Science Journal*, 11(Special Issue 2), 87-94.
- Schmidt, J. H. (2010). Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(2), 183-197.
- Schoneveld, G. C., German, L. A., & Nutako, E. (2011). Land-based investments for rural development? A grounded analysis of the local impacts of biofuel feedstock plantations in Ghana. *Ecology and Society*, 16(4).
- Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi, S., & Kochubabu, M. (2011). Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. *Industrial Crops and Products*, 33(1), 7-22.
- Shuit, S. H., Tan, K. T., Lee, K. T., & Kamaruddin, A. H. (2009). Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study. *Energy*, 34(9), 1225-1235.
- Silva, G., Molina, P., Aldás, M., Valle, V., & Proaño, E. (2018). Mezclas Ácido Poliláctico-Almidón Compatibilizadas Con Alcohol Polivinílico: Evaluación Mecánica, Térmica Y De Biodegradabilidad. *Dyna Energia Y Sostenibilidad*, 7(1).
- Solano, M. (2010). *Evaluación de pulpa para papel obtenida a partir de raquis de palma africana (Elaeis guineensis) por el método a la soda*. Universidad de

Costa Rica.

- Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., Geethakumariam, M. L., & Thomas, S. (2014). Environmental effects in oil palm fiber reinforced phenol formaldehyde composites: Studies on thermal, biological, moisture and high energy radiation effects. *Advanced Composite Materials*, 13(3-4), 171-197.
- Sreekala, M. S., Kumaran, M. G., & Thomas, S. (1997). Oil palm fibers: Morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 66(5), 821-835.
- Sreekumar, P., Al- Harthi, M., & De, S. (2012). Effect of Glycerol on Thermal and Mechanical Properties of Polyvinyl Alcohol/Starch Blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(1), 135-142.
- Stupenengo, F. (2011). Materiales Compuestos. En M. de Educación (Ed.), *Materiales y materias primas*. Buenos Aires.
- Tapia, C., Paredes, C., & Correa, C. (2014). Comparación De Las Propiedades De Compuestos En Base De Polipropileno En Mezcla Con Diversos Residuos Agroindustriales Del Ecuador. *Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)*.
- TAPPI. (1946). T 17 m-55 Cellulose in Wood. *Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI)*, (Corrected in 1955), 2.
- Thakur, V. K., & Thakur, M. K. (2014). Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites. *Carbohydrate Polymers*, 109, 102-117.
- Torres, M. (2019). *Obtención de celulosa a partir de la cáscara de cacao ecuatoriano (Theobroma cacao L.) mediante hidrólisis térmica para la elaboración de pulpa de papel*. Universidad Central del Ecuador.
- Torres, R., Acosta, Á., & Chinchilla, C. (2007). Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. *French Politics, Culture & Society*, 25(2), 377-387.

- Traña, C. (2009). *Aprovechamiento de la biomasa (raquis) como combustible para incrementar la producción de energía térmica (vapor) en la caldera*. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Tudorachi, N., Cascaval, C. N., Rusu, M., & Pruteanu, M. (2000). Testing of polyvinyl alcohol and starch mixtures as biodegradable polymeric materials. *Polymer Testing*, 19(7), 785-799.
- TUK, I. (2012). *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad Particular B*.
- Van Dam, J. (2016). Oil Palm By-Products as Biomass Commodities. *Palmas*, 37(Tomo II), 149-156.
- Velazquez, A. (2015). *Síntesis de nanopartículas de Almidón y su evaluación como portadoras de Ubiquinol*. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Vera, M. (2016). *Gestión de control para la utilización del cuesco de la palma africana como parte de los áridos en la fabricación de hormigón compactado*. 151.
- Wang, J. L., Cheng, F., & Zhu, P. X. (2014). Structure and properties of urea-plasticized starch films with different urea contents. *Carbohydrate Polymers*, 101(1), 1109-1115.
- Wicke, B., Sikkema, R., Dornburg, V., & Faaij, A. (2011). Exploring land use changes and the role of palm oil production in Indonesia and Malaysia. *Land Use Policy*, 28(1), 193-206.
- WRM. (2001). *El amargo fruto de la palma aceitera: despojo y deforestación*. *Movimiento Mundial por los Bosques Tropicales*.
- Wu, G., Sun, E., Huang, H., Chang, Z., & Xu, Y. (2013). Preparation and properties of biodegradable planting containers made with straw and starch adhesive. *BioResources*, 8(4), 5358-5368.
- Yusoff, S., & Hansen, S. B. (2007). Feasibility study of performing an life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(1), 50-58.

- Zah, R., Hischer, R., Leão, A. L., & Braun, I. (2007). Curauá fibers in the automobile industry - a sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 15(11-12), 1032-1040.
- Zanela, J., Casagrande, M., Shirai, M. A., De Lima, V. A., & Yamashita, F. (2016). Biodegradable blends of starch/polyvinyl alcohol/glycerol: Multivariate analysis of the mechanical properties. *Polimeros*, 26(3), 193-196.
- Zapata, A. (2016). *Investigación del efecto de los parámetros de elaboración de pellets de cuesco de palma en el proceso de pirolisis*. Universidad Nacional de Colombia.
- Zhang, Z., Shan, H., Sun, J., Weng, Y., Wang, X., Xiong, J., ... Chen, X. (2013). Facile preparation of corn starch nanoparticles by alkali-freezing treatment. *RSC Advances*, 3(32), 13406-13411.